



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**GENERACIÓN DE UN PAQUETE TECNOLÓGICO PARA EL MANEJO FORESTAL
SOSTENIBLE EN PLANTACIONES Y BOSQUE NATURAL DE CAOBA (*Swietenia
macrophylla* King) EN GUATEMALA**

Tania Paola Arreaza Rodas

Asesorado por el Ing. Carlos Vinicio Godínez Miranda

Guatemala, mayo de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**GENERACIÓN DE UN PAQUETE TECNOLÓGICO PARA EL MANEJO FORESTAL
SOSTENIBLE EN PLANTACIONES Y BOSQUE NATURAL DE CAOBA (*Swietenia
macrophylla* King) EN GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

TANIA PAOLA ARREAZA RODAS

ASESORADO POR EL ING. CARLOS VINICIO GODÍNEZ MIRANDA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA AMBIENTAL

GUATEMALA, MAYO DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Jaime Domingo Carranza González
EXAMINADORA	Dra. Casta Petrona Zeceña Zeceña
EXAMINADOR	Ing. Pablo Enrique Morales Paniagua
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**GENERACIÓN DE UN PAQUETE TECNOLÓGICO PARA EL MANEJO FORESTAL
SOSTENIBLE EN PLANTACIONES Y BOSQUE NATURAL DE CAOBA (*Swietenia
macrophylla* King) EN GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 12 de febrero de 2016.

Tania Paola Arreaza Rodas

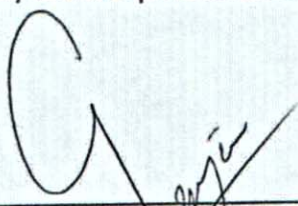


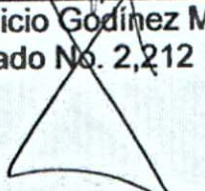
Guatemala, 15 de marzo de 2016

Ingeniero
Carlos Salvador Wong Davi
Director
Escuela de Ingeniería Química
Su Despacho

De manera atenta me dirijo a usted para informarle que después de haber revisado y corregido versiones preliminares, apruebo el Informe Final de Trabajo de Graduación de la estudiante Tania Paola Arreaza Rodas, que cursó la carrera de Ingeniería Ambiental y se identifica con el número de camé 201122963 y DPI 2223983610101, titulado **"GENERACIÓN DE UN PAQUETE TECNOLÓGICO PARA EL MANEJO FORESTAL SOSTENIBLE EN PLANTACIONES Y BOSQUE NATURAL DE CAOBA (*Swietenia macrophylla* King) EN GUATEMALA"**, en el cual he participado como asesor.

Agradeciendo su atención, me despido atentamente,


F. _____
Ing. Carlos Vinicio Godínez Miranda
Colegiado No. 2,212


CARLOS VINICIO GODÍNEZ MIRANDA
Ingeniero Agrónomo
Colegiado 2,212



Guatemala, 03 de febrero de 2017
Ref. EIQ.TG-DI.006.2017

Ingeniero
Carlos Salvador Wong Davi
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Wong:

Como consta en el Registro de Evaluación del diseño de investigación **EIQ-REG-TG-002**, correlativo **107-2015**, le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE TRABAJO DE GRADUACIÓN
-Modalidad Seminario de Investigación-

Solicitado por la estudiante universitaria: **Tania Paola Arreaza Rodas**.
Identificada con número de carné: **2011-22963**.
Previo a optar al título de **INGENIERA AMBIENTAL**.

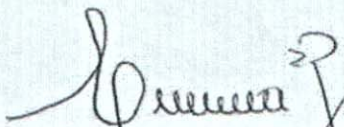
Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

**GENERACIÓN DE UN PAQUETE TECNOLÓGICO PARA EL MANEJO
FORESTAL SOSTENIBLE EN PLANTACIONES Y BOSQUE NATURAL DE
CAOBA (*Swietenia macrophylla* King) EN GUATEMALA**

El Trabajo de Graduación es asesorado por el Ingeniero Agrónomo: **Carlos Vinicio Godínez Miranda**.

Se autoriza al estudiante, proceder con la fase de ejecución del proyecto de investigación, del trabajo de graduación de acuerdo al cronograma aprobado.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


Inga. Casta Petrona Zecena Zecena
COORDINADORA DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo



Ref.EIQ.TG.021.2017

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del **Trabajo de Graduación** de la carrera de **Ingeniería Ambiental** de la estudiante, **TANIA PAOLA ARREAZA RODAS** titulado: **"GENERACIÓN DE UN PAQUETE TECNOLÓGICO PARA EL MANEJO FORESTAL SOSTENIBLE EN PLANTACIONES Y BOSQUE NATURAL DE CAOBA (*Swietenia macrophylla* King) EN GUATEMALA"**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Carlos Salvador Wong Davi
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, mayo 2017

Cc: Archivo
CSWD/ale



ACAAI

Agencia Centroamericana de Asesoría de
Proyectos de Admisión y Vinculación



Universidad de San Carlos
de Guatemala

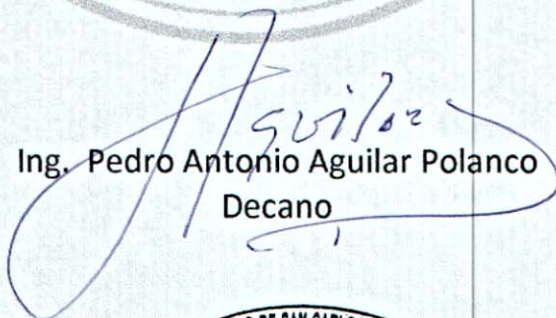


Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 224.2017

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **GENERACIÓN DE UN PAQUETE TECNOLÓGICO PARA EL MANEJO FORESTAL SOSTENIBLE EN PLANTACIONES Y BOSQUE NATURAL DE CAOBA (*Swietenia macrophylla* King) EN GUATEMALA**, presentado por la estudiante universitaria: **Tania Paola Arreaza Rodas**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, mayo de 2017

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser mi fortaleza, mi guía y mi sustento para culminar mi carrera.
Mis padres	Álvaro Arreaza Sánchez y Lesbia Patricia de Arreaza, por ser el apoyo incondicional en mi vida y haberme forjado como la persona que soy en la actualidad y por haberme motivado a luchar siempre por mis metas. Los amo incondicionalmente.
Mis hermanos	Álvaro, Alexis, Karen y José Arreaza Rodas por darme aliento en momentos difíciles y siempre creer en mí y por su amor. Los amo mucho.
Mis cuñadas	Rosa Barrios de Arreaza y Rosa Navarro de Arreaza por su cariño y apoyo.
Mis amigos	Ligia Pinto, Aarón Bedoya, María José García, Lisbeth Flores, Steffani Escobar, Diego Cabrera, Sandra Salguero, Jeniffer Castro y Estuardo Barrientos por su apoyo y amistad.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser la casa de estudios que me inculcó los valores para mi desarrollo profesional.

Facultad de Ingeniería

Por brindarme el conocimiento que permitirá mi ejercicio profesional.

**Escuela de Ingeniería
Química**

Por brindarme los conocimientos para mi desarrollo.

Mi asesor

Ing. Carlos Vinicio Godínez Miranda, por su apoyo y paciencia en la constante revisión y asesoría de esta investigación, por llevarme a la excelencia.

**Instituto Nacional de
Bosques (Inab)**

Ing. Daniel Marmillod, Lic. Rafael Ávila y Lusvi Hurtado, por darme el privilegio de realizar mi trabajo de graduación y brindarme el material y las herramientas de apoyo para culminar.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
Hipótesis.....	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Sinónimos de caoba	3
2.2. Clasificación taxonómica	3
2.3. Manejo forestal	5
2.3.1. Manejo forestal en plantaciones	6
2.3.2. Status de las poblaciones	6
2.4. Parcelas permanentes de medición forestal PPMF	7
2.5. Plantaciones forestales.....	7
2.5.1. La necesidad de establecer plantaciones forestales	10
2.5.2. Ventajas de las plantaciones	11
2.5.3. Desventajas de las plantaciones	12
2.6. Consideraciones sobre la especie a plantar y el sitio de plantación	13
2.7. Plantaciones puras y plantaciones mixtas	14

2.8.	El futuro de la silvicultura de plantaciones	16
2.9.	Composición de la plantación	17
2.10.	Descripción de los recursos forestales.....	18
2.11.	Base legal para el aprovechamiento y manejo del bosque	19
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	21
3.1.	Localización	21
3.2.	Delimitación del campo de estudio.....	21
3.3.	Recursos humanos	24
3.4.	Recursos materiales.....	24
3.5.	Recolección y tabulación de la información	24
3.6.	Programas utilizados para el análisis de datos	24
4.	RESULTADOS.....	25
4.1.	Paquete tecnológico para la producción de caoba.....	25
4.1.1.	Selección de sitio	25
4.1.1.1.	Características de sitio que determinan el crecimiento de la especie.....	25
4.1.1.2.	Temperatura.....	25
4.1.1.3.	Pluviometría	25
4.1.1.4.	Zona de vida.....	25
4.2.	Fisiografía	26
4.2.1.	Altitud	26
4.2.1.1.	Pendiente del terreno	26
4.2.1.2.	Posición en el paisaje.....	26
4.2.1.3.	Aspecto/exposición	26
4.3.	Suelo.....	27
4.3.1.	Textura	27

4.3.2.	Factores limitantes.....	27
4.4.	Distribución potencial de la especie en Guatemala	27
4.5.	Recomendaciones para una correcta elección del sitio para la especie	29
4.6.	Ejemplos de buena o mala elección	29
4.7.	Producción de plántulas y genética	30
4.7.1.	Diversidad genética y procedencia	30
4.8.	Rodales semilleros	31
4.9.	Semilla.....	32
4.10.	Recolecta.....	32
4.11.	Acondicionamiento	34
4.12.	Conservación y viabilidad	35
4.13.	Tratamientos pregerminativos	35
4.14.	Producción de plantas	35
4.14.1.	Métodos de propagación sexual.....	35
4.14.2.	Métodos de propagación asexual	36
4.14.2.1.	Substratos en vivero	37
4.15.	Establecimiento de plantaciones	37
4.15.1.	Comportamiento ecológico de la especie	37
4.16.	Instalación	38
4.17.	Introducción en sistemas agroforestales	40
4.18.	Silvicultura de plantaciones	41
4.18.1.	Manejo silvicultural de plantaciones	41
4.18.2.	Poda	43
4.19.	Manejo de plagas y enfermedades.....	44
4.19.1.	Plagas y enfermedades en vivero.....	44
4.20.	Plagas y enfermedades en vivero	45
4.21.	Manejo de bosques naturales.....	49
4.22.	El diámetro mínimo de corta (DMC)	50

4.23.	Distribución diamétrica	51
4.24.	Balance entre uso y conservación	51
4.25.	Consideraciones Netamente Silviculturales	53
4.26.	Regulaciones en Guatemala	54
4.26.1.	Algunas Consideraciones en la determinación del diámetro mínimo de corta (DMC)	54
4.27.	Bases del CONAP para el manejo de la caoba.....	55
4.28.	Crecimiento y productividad de plantaciones	65
4.28.1.	Metodología de seguimiento y evaluación de crecimiento en Guatemala.....	65
4.28.2.	Crecimiento e incrementos.....	67
4.29.	Existencias	75
4.29.1.	Herramienta.....	75
4.30.	Importancia de la especie en el país	75
4.30.1.	Estado de protección legal de la especie en el país	76
4.30.2.	Superficies de plantaciones.....	76
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	79
	CONCLUSIONES.....	83
	RECOMENDACIONES	85
	BIBLIOGRAFÍA.....	87
	APÉNDICES.....	95

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Caoba (<i>Swietenia macrophylla</i> King)	4
2.	Plantaciones de caoba	8
3.	Mapa de Distribución Potencial <i>Swietenia macrophylla</i> King	28
4.	Oruga de <i>Hypsipyla grandella</i> alimentándose en el interior de los tejidos de caoba	45
5.	Adulto de <i>Hypsipyla grandella</i> que deposita sus huevos en los tejidos de caoba	46
6.	Daños causados por la oruga de <i>Hypsipyla grandella</i> en plantaciones de caoba	47
7.	Familia de curvas de crecimiento en altura dominante (m) para plantaciones de <i>Swietenia macrophylla</i> King en Guatemala.....	71
8.	Familia de curvas de crecimiento en diámetro (cm) para plantaciones de <i>Swietenia macrophylla</i> King en Guatemala.....	72
9.	Familia de curvas de crecimiento en área basal (m ² /ha) para plantaciones de <i>Swietenia macrophylla</i> King en Guatemala.....	73
10.	Familia de curvas de crecimiento en volumen total (m ³ /ha) para plantaciones de <i>Swietenia macrophylla</i> King en Guatemala.....	74

TABLAS

I.	Fuentes semilleras de caoba inscritas en el Registro Nacional Forestal	31
----	--	----

II.	Agentes dañinos de la caoba (<i>Swietenia macrophylla</i> King) reportados en Guatemala	44
III.	Agentes dañinos de la caoba (<i>Swietenia macrophylla</i> King) reportados en Guatemala en Plantaciones.....	48
IV.	Estimación de la corta permisible para caoba para cuatro ciclos de corta.....	60
V.	Número de parcelas permanentes de medición (PPM) e individuos controlados por el Inab en plantaciones de <i>Swietenia macrophylla</i> King: por edad de las plantaciones y número de mediciones	65
VI.	Número de parcelas permanentes de medición (PPM) e individuos controlados por el INAB en plantaciones de <i>Swietenia macrophylla</i> King: por grado de mezcla inicial, con especies asociadas en plantaciones.....	66
VII.	Categorías de sitio para <i>Swietenia macrophylla</i> King en Guatemala....	67
VIII.	Aptitud para el crecimiento de <i>Swietenia macrophylla</i> King de municipios con PPM de la especie en Guatemala	67
IX.	Incremento medio anual (IMA) de variables de crecimiento para <i>Swietenia macrophylla</i> King en Guatemala, según categorías de sitio	70
X.	Familia de modelos de crecimiento para <i>Swietenia macrophylla</i> King en Guatemala	70
XI.	Áreas plantadas en Guatemala con <i>Swietenia macrophylla</i> , incentivadas por PINFOR y PINPEP por años y departamentos, en hectáreas.....	76

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
DAP	Diámetro a la altura del peco
Fosforo MAP 10-50	Fosfato monoamónico grado10-50
°C	Grados Celsius o grados centígrados
IMA	Incremento medio anual
IS	Índice de sitio
msnm	Metros sobre el nivel del mar
Mm	Milímetros
CaO	Óxido de calcio
PPM	Parcela permanente
%	Porcentaje
pH	Potencial de hidrógeno
RBM	Reserva de la Biosfera Maya
ZUM	Zona de usos múltiples

GLOSARIO

Brinzal	Etapa en el desarrollo de un árbol entre plántula y árbol joven, se aplica cuando se alcanza una altura de 1,37 m pero menos de 8 cm en diámetro a la altura del pecho.
Calaza	Región del óvulo de las plantas con flores en la que convergen el funículo y los tegumentos.
CCEE	Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad San Carlos de Guatemala.
CINFOR	Centro de Información y Documentación Forestal.
Coetáneo	Es la condición en la cual se comparte la misma edad o se coincide en una misma época.
Comosa	Que tiene un penacho en el ápice.
CONABIO	Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad.
CONAP	Consejo Nacional de Áreas Protegidas, tiene como fin de asegurar la conservación y el uso sostenible de la diversidad biológica y las áreas protegidas de Guatemala.

Contrafuerte	Pliegue saliente de madera que aparece en el ángulo que forman una raíz lateral y la base de un árbol para dar estabilidad lateral al tronco.
CUDEP	Centro Universitario de Petén de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
CUNOROC	Centro Universitario de occidente de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
Dosel	Es la capa superior de las hojas de los árboles.
ENCA	Escuela Nacional Central de Agricultura.
Esciófita	Planta que crece mejor bajo una menor intensidad luminosa.
ESNACIFOR	Escuela Nacional de Ciencias Forestales, ubicada en Honduras, se dedica a la formación de recursos humanos en ciencias forestales.
Especie conífera	Son árboles medianos y gigantes, no poseen flores ni frutos, sino que el polen y las semillas se producen en estructuras leñosas especializadas comúnmente llamadas conos o piñas. Las hojas tienen escamas, espinas y agujas largas. Su pigmento siempre es color verde importar la estación.

Especie latifoliada	Son árboles que poseen hojas de base ancha y terminada en punta fina que puede tener bordes serrados o lisos.
Espolones	En la flor, es el órgano o parte de los órganos que sobresalen hacia el exterior desde la base del cáliz.
Esporodoquio	Estroma pequeño en forma de almohadilla.
ESTEFFOR	Escuela de Formación Forestal.
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, vela para que las personas tengan acceso a alimentos de buena calidad.
FAUSAC	Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos.
FIUSAC	Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos.
Fotosintato	Cualquier compuesto que es un producto de la fotosíntesis.
Heliófita	Cualquier especie de planta que requiere de plena exposición a la luz solar para vivir y desarrollarse y por lo tanto son absolutamente intolerantes a la sombra.

Hypsipyla grandella	Comúnmente conocido como polilla barrenadora o taladrador de las meliáceas, es una polilla de la familia Pyralidae, Orden Lepidóptera.
INAB	Instituto Nacional de Bosques, la entidad de dirección y autoridad de la administración pública en materia forestal en Guatemala.
ITERN	Instituto Técnico en Recursos Naturales.
ITTO/OIMT	<i>The International Tropical Timber Organization/</i> Organización Internacional de las Maderas Tropicales, es una organización intergubernamental que promueve la conservación y la ordenación, la utilización y el comercio sostenibles de los recursos de los bosques tropicales.
Latizal	Clase natural de edad de los árboles formada por pies de diámetro normal (a 1,30 m) de entre 7,5 y 20 cm.
Margas	Es un tipo de roca sedimentaria compuesta principalmente de calcita y arcillas, con predominio, por lo general, de la calcita, lo que le confiere un color blanquecino con tonos que pueden variar bastante de acuerdo con las distintas proporciones y composiciones de los minerales principales.

Paquete tecnológico forestal	Conjunto integrado y secuencial de aplicaciones y conocimientos científicos y técnicos que permiten el aumento de la productividad de las plantaciones, bajo el marco de sostenibilidad y eficiencia. Éste define y establece, las técnicas y metodologías para el correcto manejo de una especie.
Radícula	Botánicamente, parte del embrión de una planta que al desarrollarse da lugar a la raíz.
Rafe	En las plantas, línea resaltada a modo de costura que se observa en muchos rudimentos seminales y más tarde en la semilla.
Samaroides	Es un tipo de fruto en el que se desarrolla un ala aplanada de tejido fibroso y papiráceo a partir de la pared del ovario.
Seminal	En las plantas, cápsula seminal; al mismo tiempo que el rudimento seminal se transforma en la semilla, los frutos comienzan a formarse.
SENACYT	Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología.
SIFGUA	Sistema de Información Forestal de Guatemala.
Silvicultores	Es la persona que emplea diferentes tratamientos silvícolas en función de lo que quiera obtener, como madera, leña, frutos o calidad ambiental.

Tegmen	Capa protectora de las semillas.
Testa	Botánicamente, es la más externa de las dos capas que constituyen el episperma o tegumento que rodea a la semilla de las plantas espermatófitas.
UICN	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza.
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México.
URL	Universidad Rafael Landívar.
USAC	Universidad de San Carlos de Guatemala.
UVG	Universidad del Valle de Guatemala.

RESUMEN

Para realizar el paquete tecnológico se procedió a hacer una recopilación de la información existente sobre plantaciones y bosques naturales de caoba (*Swietenia macrophylla* King) en Guatemala, información de instituciones, universidad y otros centros de estudio donde se hacen investigación que aportan conocimientos científico y técnico de esta especie forestal.

Durante la recopilación se hizo evidente la necesidad de que exista un espacio público en el cual exista información consolidada. Se procedió a sistematizar de forma estratégica y ordenada todos los estudios previos con información básica e importante para que el silvicultor inicie este cultivo, en plantaciones mixtas o puras de la caoba.

El paquete tecnológico tiene como objetivo establecer la manera de realizar manejos sostenibles de la caoba que evita malas prácticas; para el seguimiento en la aplicación de este paquete se debe hacer una evaluación objetiva, tomando en cuenta que las experiencias descritas dependen del mantenimiento y cuidado que cada silvicultor tenga en su plantación.

Por último, el paquete tecnológico se distribuyó en 8 capítulos ordenados que permiten al silvicultor un acceso fácil a los conocimientos básicos, técnicas y metodologías para el correcto manejo de la plantación de caoba.

Cada uno de los 8 capítulos cuenta con información de campo que se obtuvo en las 72 parcelas permanentes de caoba distribuidas en Guatemala y

administradas por el INAB, para el estudio de como las variables físicas en cada sitio influyen en el desarrollo de esta especie.

OBJETIVOS

General

Generar un paquete tecnológico para el manejo forestal sostenible en plantaciones y bosques naturales de caoba (*Swietenia macrophylla* King) que contribuya en el desarrollo del silvicultor nacional guatemalteco.

Específicos

1. Obtener información de las parcelas permanentes de caoba (*Swietenia macrophylla* King) existentes en el país para establecer la productividad de la caoba en plantaciones forestales y en bosques naturales.
2. Generar información para conocer las ventajas o desventajas de seleccionar la caoba (*Swietenia macrophylla* King) para su explotación, desde la procedencia de las semillas, la selección de los suelos y/o sitios más apropiados para el crecimiento de la especie, su distribución geográfica, su optimización y aprovechamiento y el manejo de plagas y enfermedades.
3. Determinar cuáles son los requerimientos técnicos y legales para el manejo silvicultural de la caoba que bajo determinadas circunstancias representar inconvenientes para el sector industrial, principalmente por el cuidado de los ecosistemas y del patrimonio ambiental nacional.

4. Consolidar la información sobre la metodología para el establecimiento de plantaciones de caoba (*Swietenia macrophylla* King) con fines comerciales, para incidir en el incremento de la productividad forestal nacional y el manejo correcto de las plantaciones y bosques naturales de esta especie.

HIPÓTESIS

Es factible realizar un paquete tecnológico para ayudar al diseño y ejecución de planes de manejo forestal sostenible de plantaciones y bosques naturales de caoba (*Swietenia macrophylla* King) con información bibliográfica e información existente de investigaciones de campo realizadas en Guatemala.

INTRODUCCIÓN

Guatemala posee una superficie de 108 889 Km². La distribución de bosque es de 2,86 millones de hectáreas encontrándose un 49,7 % en el departamento de Petén. El bosque latifoliado cubre un 85 %, esto es equivalente a 3,3 millones de hectáreas. En la industria maderera un 30 % de la madera que se industrializa es de especies latifoliadas, el 70 % es de coníferas.

La caoba (*Swietenia macrophylla* King) es una especie altamente importante para la industria maderera, pues el valor económico que posee esta madera preciosa la hace muy codiciada por los silvicultores quienes buscan ampliar las plantaciones de esta especie forestal. Es una de las principales fuentes de madera tropical de América latina.

Desde hace años, se conoce de la existencia de un mercado negro que extrae caoba de las selvas guatemaltecas, principalmente de las ubicadas en la frontera norteña con México, lo que ha provocado su perturbación y degradación ambiental que ha convertido selvas vírgenes en bosques secundarios.

Por otra parte, la extracción sistemática de una sola especie acaba por evitar su regeneración natural que provoca su extinción en esa área. La selva se empobrece y la apertura del dosel forestal transforma las condiciones de humedad y temperatura del interior del bosque, que afecta al ecosistema y todas sus formas de vida.

Los efectos adversos de estas alteraciones impactan directamente en las poblaciones de caoba, que generan estímulos para la tala y alterando el potencial para su nuevo crecimiento.

La falta de un sistema de información sobre la productividad de los bosques en Guatemala, limita la planificación y aplicación del manejo forestal sostenible. Por lo cual es importante la creación de un paquete tecnológico, que ayude al diseño y ejecución de planes de manejo forestal sostenible, en este caso específico, de plantaciones y bosque natural de caoba (*Swietenia macrophylla* King).

1. ANTECEDENTES

Según Luis Martin Fuentes Archila y su *Informe de productividad de las plantaciones forestales en los diferentes tipos de raleos en la región II (las Verapaces)*, uno de los vacíos más grandes en la investigación forestal en Guatemala es la falta de información de crecimiento y rendimiento de plantaciones con fines de producción de madera para aserrío; el mayor esfuerzo se ha concentrado en el establecimiento de plantaciones, a través de los programas de incentivos forestales, pero se ha descuidado el manejo forestal. Es frecuente encontrar plantaciones con diferentes especies, con espaciamientos no apropiados para los productos deseados y aún más común ver plantaciones sin manejo, especialmente sin podas y raleos; en otros casos no se ha realizado en la forma ni en el momento oportuno ni mucho menos con la intensidad apropiada.

El *Informe de evaluación de parcelas permanentes de medición forestal, con la finalidad de generar propuestas de áreas para establecer especies predominantes en plantaciones mixtas en la sub-región II-6 Ixcán y II-7 Salacuim* del Instituto Nacional de Bosques, realizado por Marvin Rosalío Castañeda Hurtado.

En la selva maya de Quintana Roo, México, se propuso obtener datos relacionados con la estructura poblacional, regeneración, dispersión, así como de la diversidad y estructura genética de la caoba. Al mismo tiempo se planteó seleccionar y comprar una serie de árboles semilleros elegidos con bases ecológicas y genéticas, de tal manera que se maximizara el potencial de conservación de la especie.

Los datos generados permitieron ofrecer estrategias de manejo de la caoba y su ecosistema y en la conservación de la Selva Maya de Quintana Roo. Los procedimientos que se siguieron en este proyecto, pueden ser adaptados para el estudio de diferentes especies de interés comercial y de conservación en las selvas tropicales.

Iván Elvin Orlando Cabrera estudió la composición arbórea, fuente semillera y calidad de semilla de caoba (*Swietenia macrophylla* King) y Santa María (*Calophyllum brasiliense* var *Rekoi* Standl) en el Parque Nacional Laguna Lachuá. Dicho Parque cuenta con una superficie de 14 500 hectáreas y posee mucha biodiversidad. Geográficamente está ubicado en Cobán, Alta Verapaz, Guatemala. La investigación se realizó de Enero a Octubre de 2006.

Según Pedro Joaquín Chacón Fabián y su informe final de *Producción comunal sostenible de pinabete (Abies guatemalensis Rehder) para el mejoramiento del bienestar rural*, realizado en la Oficina Forestal Municipal de Totonicapán, la realización del diagnóstico permite conocer las características y principales problemas que pueda tener una unidad productiva o comunidad; en este caso el diagnóstico se trabajó a nivel del municipio de Totonicapán, pudiendo conocer de esta forma el entorno de realización del EPS y comprender la problemática.

2. MARCO TEÓRICO

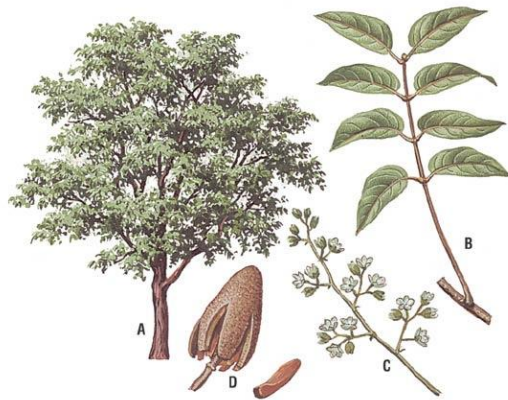
2.1. Sinónimos de caoba

Dentro de los sinónimos se reconocen Chacalté (Maya) (Guatemala); caoba de hoja grande, caoba del Sur, caoba del Atlántico, Cáguano (América Central, México y Colombia); Mongno, Aguano, Araputanga (Brasil); Mahogany Honduras, Acajou du Honduras (Guadalupe); Oruba (Venezuela); Mara (Bolivia); Mahoni (Surinam).

2.2. Clasificación taxonómica

- Reino: vegetal
- Subreino: Embryobionta
- División: Magnoliophyta
- Clase: Magnoliopsida
- Subclase: Rosidae
- Orden: Sapindales
- Familia: Meliaceae
- Género: Swietenia
- Especie: *Swietenia macrophylla* King
- Nombre Común: caoba de Petén

Figura 1. **Caoba (*Swietenia macrophylla* King)**



Fuente: *Planta de caoba*. <https://guardabosqueusb.wordpress.com/conoce-nuestras-plantas/caoba-swietenia-macrophylla/>. Consulta: septiembre de 2015.

Esta especie ha sido explotada intensamente desde tiempos de la colonia, al extremo que el establecimiento de la colonia inglesa en Belice tiene su razón de ser debido a esta especie; de tal manera que fueron los ingleses los que iniciaron su explotación en el Norte de Guatemala, por ser una de las industrias más importantes de ese entonces que ha continuado hasta los tiempos actuales; en el comercio se le conoce como Honduras Mahogany: caoba de Honduras. A los árboles de cuya madera se obtienen las más bellas figuras se les ha denominado vulgarmente como Coralillo.

El estado actual de las poblaciones de caoba es muy variable. Por ejemplo, ha sido casi eliminada de áreas accesibles de Honduras y Nicaragua, pero todavía se encuentra en áreas protegidas de Petén (Guatemala) y Belice. También existen grandes áreas de caoba en Bolivia y Brasil.

La regeneración natural de la caoba, al igual que las otras de su género, depende de la presencia de fuentes de semilla y condiciones aptas para la

germinación y desarrollo posterior. Ambas condiciones podrían cumplirse mediante la implementación de un sistema parecido al -TSS- (*tropical shelterwood system*) utilizado en Trinidad. En este sistema, la regeneración se estimula dejando un dosel abierto de árboles semilleros para así asegurar la fuente de semilla y a la vez la suficiente luz para permitir el desarrollo posterior de la regeneración.

Posteriormente, por el alto valor de su madera, podría justificarse un manejo intensivo; uno de los objetivos es el aumento sensible en el número de árboles de la especie por hectárea, aunque no hasta tal punto que se den condiciones que provoquen los ataques fuertes de *Hypsipyla*, una plaga forestal de gran impacto económico y ambiental.

En Guatemala, las maderas más utilizadas y de gran importancia económica en la elaboración de productos en madera son la caoba (*Swietenia macrophylla*), y el cedro (*Cedrela odorata*).

Se considera que la madera de la Caoba es una de las mejor conocidas en el mundo; ha sido siempre el patrón de comparación para todas las otras especies que se utilizan en la fabricación de muebles. Su madera es de corazón rojizo, rosado, salmón coloreado o de color amarillento cuando está fresca, se vuelve más oscura después de secarse al aire. En Guatemala, la caoba y el cedro son consideradas maderas finas y gredosas; su resina es de muy buena calidad.

2.3. Manejo forestal

El manejo forestal se define como el aprovechamiento sostenible de los productos deseados y de los servicios ambientales que provee el bosque, sin

reducir sus valores inherentes ni su productividad futura. En términos simples, el manejo forestal se puede definir como la planificación y ejecución del aprovechamiento, recuperación y protección del bosque.

2.3.1. Manejo forestal en plantaciones

Se refiere al conjunto de técnicas y prácticas silviculturales que permiten mayor rendimiento y mejor calidad de los productos de una plantación forestal. Especialmente se refiere a las prácticas de deshije, poda y raleo. Debido a un buen manejo se obtendrán árboles de mayor grosor y el producto final será de buena calidad.

2.3.2. Status de las poblaciones

La caoba (*Swietenia macrophylla* King) es una especie que se encuentra en la industria maderera y está siendo explotada legal e ilegalmente. No existen inventarios forestales que demuestren con certeza los volúmenes de madera existente, se limitan a dar datos de extensión de cobertura y son de calidad variable. La mayoría de los inventarios son hechos para la explotación forestal y no para la conservación o regeneración natural, focalizados en los especímenes maduros, no sobre árboles pequeños que están ausentes de los valores estimados.

Cuando existen árboles de caoba con un diámetro y una altura que ya permite considerarlos como adultos y con los cuales se puede crear un inventario útil, son talados, perdiendo el propósito del inventario de conservación.

La *Swietenia macrophylla* King es una de las especies con mayor peligro en estado silvestre debido a la presión de la corta; la especie es muy susceptible a reducciones de la población después de la corta intensiva debido a los siguientes

- Da frutos de forma irregular
- Su regeneración en bosques naturales es débil
- No rebrota
- Los insectos consumen las semillas

2.4. Parcelas permanentes de medición forestal PPMF

Las parcelas permanentes son utilizadas como una herramienta eficiente para poder determinar el crecimiento y rendimiento de árboles en forma individual y rodales; información importante para crear metodologías de manejo, modelos de crecimiento elaborar tablas de rendimiento en volumen y área basal.

Se define como la unidad mínima de muestreo, cuyo tamaño varía con respecto a los objetivos para los cuales es establecida; tiene como objetivo principal permitir mediciones periódicas y seguimiento del crecimiento y desarrollo de los árboles que quedan dentro de la parcela por un periodo de años que dependerá de la edad de rotación de la especie, producto y calidad de sitio.

2.5. Plantaciones forestales

El hombre tiene gran influencia en la generación de grandes áreas boscosas. Las principales masas forestales según su origen son:

- Forestación: en los últimos 50 años, las plantaciones boscosas en terrenos que sean para árboles.
- Reforestación: En los últimos 50 años las plantaciones de árboles que se planten nuevamente para reponer los que se han talado.
- Reforestación: Cuando los árboles que han sido talados se reemplazan por otra especie.
- Masas forestales establecidas por regeneración natural favorecida con intervenciones silviculturales.

La *Food and Agriculture Organization* (FAO) plantación forestal es una masa arbórea que contiene arriba de 0,5 hectáreas plantadas por el hombre que utiliza ya sea semillas o plántulas forestales, con la práctica de forestación o reforestación que introduce una nueva especie u originaria.

Figura 2. **Plantaciones de caoba**



Fuente: *Plantaciones de caoba*.

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7f/Swietenia_macrophylla_02.JPG. Consulta: septiembre de 2015.

Las características de las plantaciones forestales poseen cualidades generales:

- Forma: poseen una forma regular donde sus límites son definidos por el territorio.
- Densidad: se utiliza la mayor cobertura posible de terreno y se colocan de una forma uniforme en el terreno; utiliza mayor capacidad productiva del suelo.
- Estructura simple: es común que todas las especies sean del mismo género o edad, su tamaño puede variar.
- Relativa simplicidad ecológica: existe una ligera variación en la diversidad biológica; por el contrario, en un bosque natural se da una mayor diversidad bien marcada.
- Objetivo definido: idealmente una plantación forestal tiene un objetivo bien definido comercial o de conservación que rige el tipo de estructura, composición y manejo.

Las plantaciones forestales proveen una serie de beneficios y servicios, entre los que se encuentran los siguientes:

- Aumentan la disponibilidad de madera y otros productos forestales (leña, carbón, entre otros).
- Reducen el área necesaria para suplir de productos forestales al ser más productivos que los bosques naturales.
- Disminuyen y amortiguan la cosecha de bosques naturales.

- Rehabilitan áreas despojadas de cobertura boscosa y con suelos degradados, contribuyendo a la protección de cuencas contra la erosión, la escorrentía y la sedimentación.
- Aseguran pendientes inestables, costas, riberas y dunas.

2.5.1. La necesidad de establecer plantaciones forestales

A nivel mundial, ha sido de gran interés poder realizar plantaciones en los últimos años. Entre los años 1980 y 2000, globalmente aumentó el área de plantaciones en 187 millones de hectáreas. Aproximadamente se crean nuevas plantaciones a una tasa de 4,5 millones de hectáreas al año mundialmente.

La mayoría de plantaciones forestales se han establecido como monocultivos de árboles coetáneos con la finalidad principal de producir madera. Alrededor del 90 % de las plantaciones existentes se han establecido para la producción de madera de uso industrial y el 10 % restante para producir madera a utilizar como combustible o madera en rollo. Algunas plantaciones se establecen y ordenan, principal o conjuntamente, para productos no madereros como aceites esenciales, taninos o forrajes.

Los argumentos que se usan para favorecer el establecimiento de las plantaciones forestales en trópicos se basan esencialmente en la expectativa de que la madera será escasa en el futuro.

Se espera que el consumo de productos maderables tenga un crecimiento continuo así como los productos forestales no maderables que son esenciales para las comunidades rurales. Además, las predicciones mundiales de la FAO indican que la superficie total de tierra bajo cultivo agrícola aumentará para el

año 2010 en 850 millones de hectáreas; en América Latina donde se registrarán los mayores crecimientos. Para esto es de esperarse que una cantidad considerable de tierra con cobertura boscosa sea deforestada.

Además de las predicciones de la futura escasez de productos maderables, existen varios factores principales que favorecen el establecimiento de plantaciones forestales en el trópico, los cuales varían en importancia de país en país. Estos factores se pueden clasificar como negativos y positivos. Entre los factores negativos se tienen:

- La destrucción pasada y actual de los bosques naturales
- Acceso limitado a los bosques naturales remanentes
- Regeneración natural insatisfactoria

En el trópico existen ventajas ambientales, las plantaciones forestales son exitosas. Los factores positivos son:

- Alta productividad
- Fuente de desarrollo rural
- Beneficios ambientales que se generan

2.5.2. Ventajas de las plantaciones

Las ventajas de las plantaciones forestales se basan sobre todo en aspectos financieros de la producción forestal al compararlas con los bosques naturales; y en materia ambiental, al compararlas con tierras deforestadas. Las ventajas de las plantaciones son más evidentes donde la regeneración natural es pobre y donde hay un pronunciado bajo crecimiento.

La superioridad de las plantaciones sobre los bosques naturales se debe principalmente a su mayor productividad de madera comercial. Con sus rendimientos relativamente altos, las plantaciones forestales tropicales y subtropicales tienen un potencial para contribuir sustancialmente en la producción de madera en el mundo.

Se ha considerado que los productos originarios de las plantaciones forestales son altamente competitivos y de buena calidad ante los sustitutos, ya que desde el origen son tratados comercialmente.

Las plantaciones dan un mejor producto maderero que los bosques naturales debido al cuidado que se le brinda desde la semilla hasta su etapa adulta para poder extraerle la madera.

La existencia de una plantación forestal adecuadamente manejada favorece, en términos generales, la presencia y permanencia de la biota local, si se compara con el uso pecuario del mismo terreno. También, se ha comprobado el mejoramiento de algunas características edáficas con el establecimiento de las plantaciones forestales con respecto a las condiciones de áreas agrícolas y ganaderas, especialmente, en cuanto a la estructura del suelo.

2.5.3. Desventajas de las plantaciones

Las desventajas que presentan las plantaciones forestales son principalmente por aspectos ambientales; una de las preocupaciones es reemplacen al bosque natural en vez de establecerse en áreas agrícolas o ganaderas que impacta, en este caso, a la biota natural del sitio.

Actualmente, los programas de reforestación tienen como requisito que se establezcan en áreas desprovistas de cobertura forestal; por lo tanto parece absurdo que todavía se produzcan casos en los que se deforeste para reforestar, como fue en los inicios de los programas de incentivos forestales en Chile y Costa Rica.

Otra desventaja es el peligro de perderlas frente al ataque de plagas o enfermedades. Las plantaciones extensivas, sin barreras naturales dentro de los rodales, representan concentraciones inusualmente accesibles y grandes de alimento para plagas que puede conducir a explosiones demográficas de éstas y como consecuencia a pérdidas catastróficas de la productividad.

2.6. Consideraciones sobre la especie a plantar y el sitio de plantación

La composición de especies de una plantación es la clave principal del éxito o fracaso, en términos de productividad, rendimiento y rentabilidad, buscando que la especie a plantar maximice los beneficios del productor.

Se utilizan tres criterios principales para determinar la especie a plantar:

- Valor o utilidad del producto final
- Su productividad en los sitios disponibles
- El costo de establecimiento y manejo

La decisión final sobre la selección de las especies madereras siempre se basa en consideraciones económicas: la aceptación de un producto por la industria y el comercio. Por consiguiente, especies de árboles desconocidas en

el mercado, aunque tengan excelentes características silvícolas y adaptación al sitio, quizá no ameriten ser seleccionadas para las plantaciones.

Otro aspecto importante analizar se refiere a requerimientos ambientales de la especie, con el objetivo de coincidir estas con las características de los sitios disponibles para el establecimiento de la plantación. Bajo esta lógica, es de vital importancia la realización previa de análisis físico y químico del suelo; otros factores a evaluar son la precipitación, altitud y latitud.

2.7. Plantaciones puras y plantaciones mixtas

Los bosques naturales están generalmente constituidos por una mezcla de diferentes especies, y de todas las clases de edad y tamaño; es más notoria esta característica en bosques tropicales. A diferencia, las plantaciones forestales, en su mayoría se establecen con una sola especie, todos los árboles tienen la misma edad con pequeñas variaciones de tamaño, en pocas ocasiones se utiliza asociación de especies.

Existen tres temas que causan preocupación por el hecho de que la mayoría de plantaciones forestales son monocultivos:

- La ecología de la plantación, existe una muy reducida diversidad biológica en una plantación, comparada con ecosistemas naturales.
- Susceptibilidad de las plantaciones forestales a las enfermedades y plagas.
- Mantener la productividad de la plantación a largo plazo.

El hecho que existan plantaciones que constituyen monocultivos y por ende exista poca diversidad de especies dentro de ellas, hace que sean nativas o exóticas.

Otra manera de reducir el peligro es seleccionando genéticamente variedades resistentes con medidas silviculturales que aseguren árboles sanos y vigorosos como podas, raleos eviten continuidad de copas y del monocultivo de extensiones muy grandes y continuas.

Las plantaciones mixtas tienen más ventajas sobre las plantaciones puras: entre éstas encontramos: menor incidencia y severidad de ataque de ciertas plagas y/o enfermedades; bien planificadas proveen productos más diversos que las plantaciones puras; contribuye a disminuir los riesgos ante la inseguridad de los mercados.

También pueden proveer retornos de capital en varias etapas de la plantación. Por ejemplo, el uso de especies de crecimiento rápido y lento en la misma plantación tiene la ventaja de producir madera en diferentes rotaciones con productos de cosecha más rápida, de menor precio y otros más lentos, pero de mayor valor de mercado.

A pesar de las ventajas mencionadas, se debe tener en cuenta que cada especie tiene sus particularidades en el desarrollo y tolerancia, por lo que algunas pueden llegar en buenas condiciones a su madurez, forman masas mezcladas, mientras que otras sólo producen buenos resultados en masas puras. En este sentido, el objetivo de la plantación no se puede perder de vista al considerar su diseño.

2.8. El futuro de la silvicultura de plantaciones

La silvicultura de plantaciones en el ámbito global fue analizada en el contexto del XI Congreso Forestal Mundial en Turquía en 1997. Entre las conclusiones a las que se llegó al discutir sobre la evolución de la silvicultura de plantaciones, destacan las siguientes:

- Los dos fundamentos técnicos que marcan la diferencia entre el éxito clamoroso y el escandaloso fracaso son: la utilización de recursos genéticos bien adaptados y la aplicación de prácticas silviculturales adecuadas en todas las etapas de la plantación, desde el vivero hasta el aprovechamiento. Muchas plantaciones tropicales no están logrando su potencial de producción porque no se atiende adecuadamente a estos elementos fundamentales.
- El acierto de la silvicultura de plantaciones continuará dependiendo de la eficacia de la investigación, la innovación y los avances tecnológicos. Esta silvicultura acertada se basa también en la vinculación efectiva entre la investigación y la práctica.
- La importancia de los sistemas simples de plantación (tradicionales monocultivos coetáneos) para atender las necesidades de madera de la sociedad continuará aumentando; estos bosques deben satisfacer los criterios de sostenibilidad en el sentido más completo.
- Aunque tienen éxito a veces sobresaliente en cuanto a la producción de madera, los sistemas tradicionales de plantación no resuelven necesariamente bien otras necesidades de las sociedades en que se establecen, especialmente en países en desarrollo. En estas

circunstancias, es fundamental una concepción más amplia de la silvicultura de plantación; sus objetivos buscan una integración más estrecha con otros usos de la tierra si se quiere que la silvicultura de plantación prospere y se sostenga.

2.9. Composición de la plantación

La composición de especies de una plantación, es la clave principal del éxito o fracaso, en términos de productividad, rendimiento y rentabilidad. Muchos fracasos convencieron a la mayoría de los forestales de que no debían emprender grandes plantaciones en los trópicos, sin hacer antes pruebas con especies.

Cuando se elige una especie que no es exitosa causando pérdidas en las plantaciones de los trópicos es porque no se hizo un estudio previo de clima, la región, degradación del sitio, pastoreo, incendios, entre otros.

Aunque existen especies que ya están adaptadas, se debe siempre tener una buena selección para poder aumentar el rendimiento de la plantación.

En el trópico es posible alcanzar rendimientos que sobrepasan 30 m³/ha/año a altas elevaciones o latitudes, en zonas con noches frías o con una estación fría. Se fundamenta bajo la hipótesis de que, en las tierras bajas ecuatoriales, la respiración puede ser tan rápida y continúa que las pérdidas resultantes del fotosintato reducen significativamente la productividad neta.

Todo se basa y se concluye en el aspecto económico debido a que la aceptación en la industria es fundamental y en el comercio. Cuando las

especies no son reconocidas en el mercado es mejor no utilizarlas en una plantación forestal.

2.10. Descripción de los recursos forestales

Los recursos forestales están constituidos por el conjunto de bosques que pueblan el territorio nacional. Un bosque es un ecosistema en donde los árboles son las especies vegetales dominantes y permanentes, se clasifican en:

- Bosques naturales sin manejo: los originados por regeneración natural sin influencia del ser humano.
- Bosques naturales bajo manejo: los originados por regeneración natural y que se encuentran sujetos a la aplicación de técnicas silviculturales.
- Bosques naturales bajo manejo agroforestal: los bosques en los cuales se practica el manejo forestal y la agricultura en forma conjunta.

Actualmente la cobertura forestal del país es de aproximadamente 3 750 200 hectáreas, equivalentes al 34,4 % del territorio nacional. La aptitud de los suelos con vocación forestal alcanza el 51,1 % de la superficie total del país y la tasa de deforestación, que en la década de los 80's había sido estimada en 60 000 hectáreas por año, hoy día alcanza unas 90 000 hectáreas anuales.

Este fenómeno tiene su máxima expresión en la Franja Transversal del Norte y el departamento del Petén, áreas que están siendo utilizadas extensivamente para el establecimiento de nuevos asentamientos humanos con el consiguiente desarrollo de actividades agrícolas y ganaderas degenerativas.

2.11. Base legal para el aprovechamiento y manejo del bosque

La ley que reglamenta el uso y manejo de los bosques en Guatemala, es la *Ley Forestal*, Decreto núm. 101-96 del Congreso de la República de Guatemala, la cual entre sus considerandos expone:

- Los recursos forestales pueden y deben constituirse en la base fundamental del desarrollo económico y social de Guatemala.
- El incremento de la productividad sostenible de los bosques, así como de los bienes y servicios que aportan a la sociedad guatemalteca, constituyen el principio para su conservación y se requiere, además, una identificación concreta por parte del sector público y privado.
- La participación coordinada del sector privado en todas sus expresiones de desenvolvimiento, en el manejo sostenible de los bosques, la reforestación y la industria forestal, coadyuvarán a mejorar la participación de la actividad forestal en el desarrollo económico y social del país, a través de la generación de empleo y el incremento de la producción, por lo que es indispensable la coordinación intersectorial, para aplicar con agilidad y eficacia las estrategias de desarrollo sostenible.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Localización

La presente investigación se desarrolló en el Departamento de Investigación Forestal de la Dirección Forestal del Instituto Nacional de Bosques (INAB).

3.2. Delimitación del campo de estudio

La investigación se hizo de una recopilación bibliográfica de documentos análogos y digitales existentes en centros universitarios, bibliotecas, institutos y centros de investigación (ITTO, FAUSAC, FAO, CONAP, SENACYT, FIUSAC, CUDEP, CCEE, USAC CENTRAL, ESTEFFOR, CUNOROC, ENCA, CONABIO, INAB, ITERN, UNAM, UV, SIFGUA, CINFOR, UICN, URL).

Se obtuvo información de los datos de las parcelas permanentes (La Estrella, San José Las Minas, Chultunes, Pilonos de Antigua, Virginia, Predinsa, El Ramonal III, Hacienda El Establo la Cuchilla, Guaxpom, Choctún, Rancho Noé, Sacuitz, Hidroeléctrica Río Las Vacas, Sacuitz, Hacienda Río Dulce, Las Tablitas, Monte Alegre, Pantaleón Latín) conformadas por plantaciones mixtas y puras de Caoba. Estos datos están bajo el resguardo del INAB.

La información recabada se utilizó para elaborar un paquete tecnológico, cuyo objetivo es establecer la manera de realizar el manejo sostenible de la caoba evitando malas prácticas, proporcionando al productor forestal los

lineamientos que debe considerar para obtener una plantación económicamente exitosa.

El paquete tecnológico se distribuyó en 8 capítulos ordenados de la siguiente forma:

- Selección del sitio
 - Características de sitio que determinan el crecimiento de la especie (fisiografía, climatología, variables edáficas).
 - Mapa de distribución potencial (elaborados por INAB).
 - Recomendaciones para una correcta elección de sitio para la especie.
 - Ejemplos de buena o mala elección (productividad).
- Producción de plántulas y genética
 - Diversidad genética y procedencia.
 - Rodales semilleros.
 - Semilla (descripción, recolección, acondicionamiento, conservación, viabilidad, tratamiento pre-germinativo).
 - Producción de plantas (métodos [bolsa, pseudoestacas], propagación asexual [estacas]).
 - Substratos (cajas germinadoras, bolsas y camas en vivero).
- Establecimiento de plantaciones
 - Comportamiento ecológico de la especie.
 - Instalación (preparación del terreno, distanciamiento de siembra, mezcla con otras especies, fertilización inicial, método de control de malezas).
 - Efecto de la época de la plantación (sobrevivencia).

- Introducción en sistemas agroforestales
- Silvicultura de plantaciones
 - Manejo silvicultural de plantaciones
 - Poda
- Manejo de plagas y enfermedades
 - Plagas y enfermedades en vivero
 - Plagas y enfermedades en plantaciones
- Manejo de bosques naturales
 - Regeneración natural (reclutamiento, patrones de dispersión de semillas).
 - Mortalidad.
 - Silvicultura de bosques naturales.
 - Crecimientos en bosques naturales.
- Crecimiento y productividad de plantaciones
 - Metodología de seguimiento y evaluación de crecimiento.
 - Crecimiento e incrementos (crecimiento en plantaciones forestales) / enseñanza: citas de buenos y malos crecimientos, resaltando el potencial de la especie.
 - Productividad (modelos de crecimiento, modelos de productividad).
- Existencias
- Herramienta (uso de la ecuación: volumen de madera en pie)
- Superficie de plantaciones

3.3. Recursos humanos

- Investigador: Tania Paola Arreaza Rodas
- Asesor: Ing. Ingeniero Carlos Vinicio Godínez Miranda
- Inab: profesionales y personal de campo

3.4. Recursos materiales

- 1 Computadora
- 1 scanner
- Documentos análogos
- Documentos digitales en USB

3.5. Recolección y tabulación de la información

La información se consolidó en un solo documento y se hizo una reestructura de la información, para que pudiera ser transformada en un paquete tecnológico.

3.6. Programas utilizados para el análisis de datos

Se utilizó el programa Microsoft Word para unificar toda la información del sistema estratégico, y el programa de Microsoft Excel para tener la lista base del paquete tecnológico.

4. RESULTADOS

4.1. Paquete tecnológico para la producción de caoba

4.1.1. Selección de sitio

4.1.1.1. Características de sitio que determinan el crecimiento de la especie

4.1.1.2. Temperatura

La temperatura en la cual la caoba se da de forma natural oscila entre 22 °C a 28 °C en clima seco, húmedo o muy húmedos, con una estación seca que dura 4 meses. Cuando esta especie se cultiva puede crecer en temperaturas de 12 °C a 37 °C.

4.1.1.3. Pluviometría

La especie en su hábitat natural necesita precipitaciones oscilan entre 1 500 y 4 200 mm. En forma de cultivo puede tener precipitaciones de 5 000 mm anuales.

4.1.1.4. Zona de vida

El bosque tropical y tropical húmedo, es la zona ideal para la caoba. Se da en altitudes de 50-500 msnm, pudiendo llegar hasta los 1 400 msnm.

4.2. Fisiografía

4.2.1. Altitud

La caoba tiene un buen crecimiento en altitudes que van entre 50-500 msnm, y puede llegar hasta los 1 400 msnm.

4.2.1.1. Pendiente del terreno

El terreno va de plano a ondulado, con una pendiente de 0 % a 20 %. Pueden desarrollarse pendientes fuertes e inestables.

4.2.1.2. Posición en el paisaje

La caoba crece en suelos que son poco profundos y aluviales de origen mixto que tienen buen drenaje.

4.2.1.3. Aspecto/exposición

En la finca Pilonos de Antigua, ubicada en Petén, municipio San Francisco, la parcela núm. 1 está en posición sur, la núm. 2 y 3 hacia el norte. En la finca El Ramonal, ubicada en Petén, municipio Las Cruces, la parcela núm. 1 está orientada hacia el oeste y la núm. 2 al este. En la finca Chultunes, ubicada en Petén, municipio Las Flores, la parcela núm. 1 se encuentra en posición norte, mientras la parcela núm. 2 hacia el sureste.

4.3. Suelo

4.3.1. Textura

La caoba en su hábitat natural tiene un buen crecimiento en los suelos aluviales de origen mixto, suelos volcánicos y suelos que se derivan de la piedra caliza, granito, andesita y de las rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas. Para obtener un mejor crecimiento, el suelo tiene que ser con buen drenaje, fértil e ir de alcalino a neutro, el pH puede ir de 6,9-7.7.

En plantaciones puede crecer en suelos erosionados, arcillosos, arenoso. El pH puede llegar hasta 4,5.

4.3.2. Factores limitantes

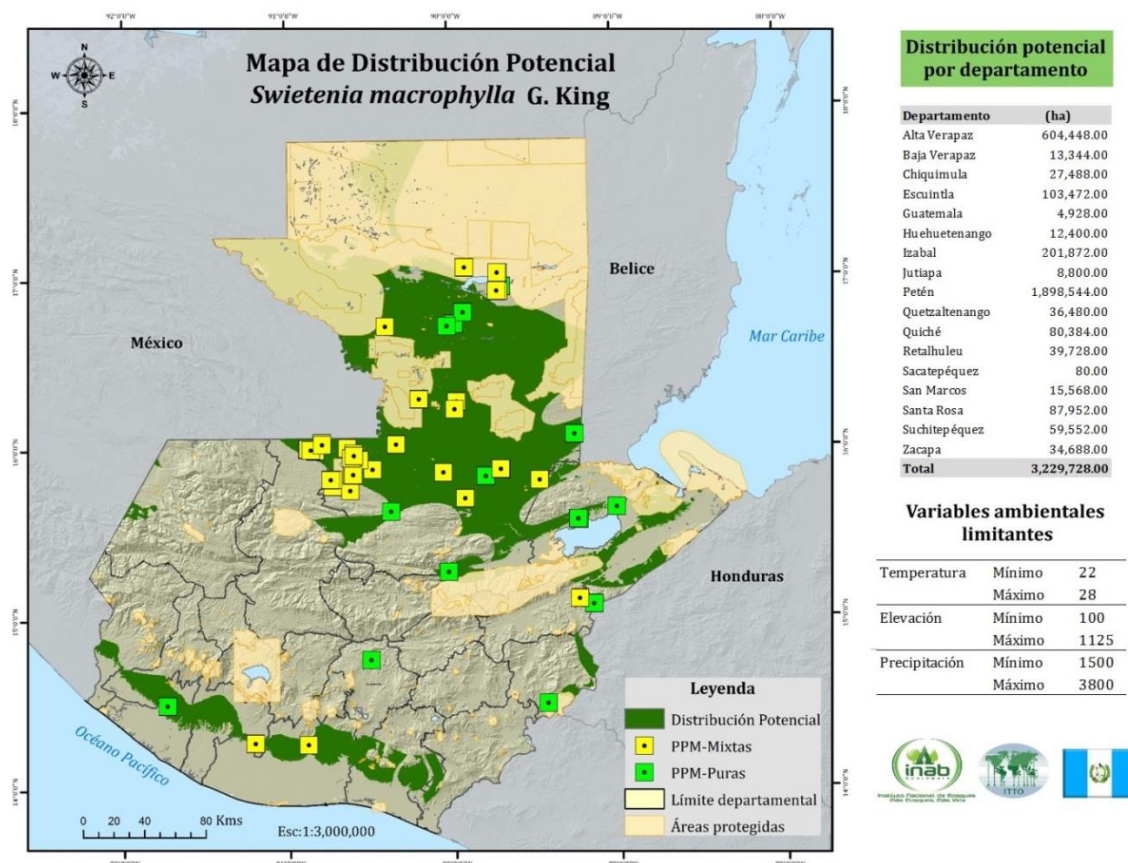
Una de las principales razones por la cual la caoba se ve afectada en su crecimiento es la plaga del barrenador (*Hypsipyla grandella* Keller). Por otra parte, cuando los árboles aún son jóvenes son propensos a los incendios, pero ya en su madurez son más resistentes. Los suelos compactados pueden ser un factor para que no crezca de manera adecuada.

4.4. Distribución potencial de la especie en Guatemala

El Departamento de Investigación Forestal del Inab, en coordinación con el Departamento de Sistemas de Información Forestal de la misma institución, ha elaborado el siguiente mapa de la distribución potencial de caoba, basado en información fisiográfica y climática obtenida mediante revisión bibliográfica y

disponibilidad de variables ambientales en la cartografía nacional. Este mapa no toma en consideración el suelo.

Figura 3. **Mapa de Distribución Potencial *Swietenia macrophylla* King**



Fuente: HURTADO, Domingo L. *Proceso de elaboración de los mapas de distribución potencial de las especies prioritarias (correspondencia personal)*. p. 389.

En el mapa de distribución potencial se encuentran ubicadas las parcelas permanentes de medición (PPM) mixtas y las parcelas permanentes de medición (PPM) puras, dando un total de 72 PPM. Se puede observar que gran parte de las PPM se localizan dentro de la zona de distribución potencial. Es de

interés remarcar que en Petén y Alta Verapaz, donde se encuentra la mayor distribución potencial, se concentra la mayoría de PPM.

4.5. Recomendaciones para una correcta elección del sitio para la especie

Crece bien en margas aluviales bien drenadas, suelos pocos profundos que contienen alto contenido de materia orgánica y pendientes entre 0 % a 20 %, si el suelo contiene minerales como carbonatos que generen cantidades considerables de potasio ayuda a que la especie crezca mejor. Debe contener un pH que vaya de ácido a neutro (entre 2 y 7).

4.6. Ejemplos de buena o mala elección

En la finca Pilonos de Antigua, ubicada en Petén, municipio de San Francisco, se encuentra una plantación forestal voluntaria de caoba (*Swietenia macrophylla* King). El objetivo de la plantación es la producción de madera para aserrín. Desde el punto de vista del silvicultor, el crecimiento de la plantación fue rápido, debido al buen manejo y no tendrían ningún inconveniente en volver a plantar caoba en plantaciones futuras.

En la finca El Ramonal III, ubicada en Petén, municipio de Las Cruces, se encuentra una plantación forestal voluntaria de caoba. El objetivo de la plantación es la producción de madera para aserrío. Desde el punto de vista del silvicultor encargado, la plantación tuvo un mediano desarrollo en comparación con las de otras especies con las que cuenta la finca (rodiales de *Cedrela odorata*, *Tectona grandis* y *Ceiba pentandra*).

En la finca Chultunes, ubicada en Petén, municipio de Flores, se encuentra una plantación forestal voluntaria de caoba. La modalidad de la plantación es de conservación y desde el punto de vista de los silvicultores el desarrollo de la misma ha sido rápido.

4.7. Producción de plántulas y genética

4.7.1. Diversidad genética y procedencia

Se realizaron evaluaciones de la diversidad genética de caoba (*Swietenia macrophylla* King) de Centroamérica y México. Se incluyeron en este estudio poblaciones ubicadas en Petén (Parque Nacional Tikal). Los resultados mostraron altos niveles de variación genética aditiva, para rendimiento en altura y diámetro en las poblaciones de Centroamérica, recomendando la urgente conservación de las poblaciones del Parque Nacional Tikal. El estudio de variabilidad genética a nivel molecular, empleando las mismas poblaciones, mostró alta variabilidad dentro y entre procedencias.

Se realizó una exhaustiva revisión de los aspectos concernientes a la variación genética, su captura y utilización, tanto para el mejoramiento genético de especies de *Swietenia macrophylla* King, como para efectos de conservación de recursos genéticos. También señalan que son pocos los ensayos de progenies que se han realizado con especies de *Swietenia macrophylla* King, aunque estos ensayos, que deben ser la base de muchos programas de mejoramiento genético se han iniciado para otras especies tropicales. La carencia de tales ensayos puede estar reflejando la dificultad de establecer plantaciones con las especies de los géneros *Swietenia macrophylla* King y *Cedrela odorata* debido a los ataques de *Hypsipyla grandella* Zeller.

En sitios húmedos, *Swietenia macrophylla* King fue superior en crecimiento en altura y en sobrevivencia, pero en los sitios secos el desempeño de las tres especies fue muy semejante.

Reportan también diferencias significativas en el crecimiento y sobrevivencia entre las procedencias ensayadas, especialmente para *Swietenia macrophylla* King.

Se concluyó que considerando la alta variación encontrada es urgente su conservación y el uso de las *Swietenia macrophylla* King y *Cedrela odorata* en programas de reforestación o agroforestales. Algunas de las áreas más importantes para su conservación son: Reserva de la Biosfera Maya y Parque Nacional Tikal.

4.8. Rodales semilleros

Tabla I. **Fuentes semilleras de caoba inscritas en el Registro Nacional Forestal**

Finca	Propietario	Municipio	Departamento	Estado	Región
Rústica	Guillermo Alberto García Estrada	Escuintla	Escuintla	Inactivo	IX Costa Sur
Ejido municipal de San Francisco	Municipalidad De San Francisco	San Francisco	Petén	Activo	VII Petén
Parque Nacional Laguna Lachúa	Instituto Nacional De Bosques	Cobán	Alta Verapaz	Activo	II Las Verapaces
Sin nombre	Jerónimo Canil Tol	Ixcán	Quiché	Activo	II Las Verapaces

Fuente: elaboración propia.

4.9. Semilla

Las semillas de caoba son samaroides, abultadas en la base, de 7 a 12 cm de largo y de 2 a 2,5 cm de ancho, incluyendo el ala. La parte abultada es comosa, lateralmente aplanada y vagamente romboide en corte longitudinal. La cubierta seminal está diferenciada en testa y tegmen. La testa de las semillas es ligeramente parda a rojo pardo, suave, opaco, cartácea e internamente llena de numerosas bolsas de aire. La testa se expande hacia el ápice en un ala lateral fina y frágil, lo cual resulta del exostoma del rafe sobrecrecido. El tegmen es de color crema o blanco, granular, opaco y unido firmemente al embrión. El hilo está al final de las alas, unidos profundamente y puntiforme, y a veces tiene remanentes de tejidos funiculares. Las agrupaciones vasculares son prominentes, descendiendo a lo largo de las alas y conectados al embrión a través de la calaza, que se puede ver como una protuberancia negra y longitudinal, localizada al extremo opuesto de la radícula.

La semilla es ortodoxa, es decir, son las semillas que sobreviven a los periodos de desecación y congelación durante su conservación *ex situ*, y puede almacenarse a 3 % - 7 % de humedad y 3 °C por hasta 8 años.

Las semillas alcanzan en promedio de 1 800 a 2 500 por Kg, con un porcentaje de germinación de 80 % - 95 %.

4.10. Recolecta

- Calendario de recolección en Guatemala: el fruto alcanza la maduración entre diciembre y enero, la recolección se realiza de febrero a abril. Los

frutos se recolectan del árbol directamente antes de que las cápsulas se abran.

- Evaluación previa a coleccionar frutos: la maduración ideal del fruto para la recolección se puede evaluar por el fácil desprendimiento del pedúnculo; otro indicador es el color café oscuro de la testa y ala, así también observando los frutos abiertos en el árbol y la caída de las valvas del fruto y semillas. Los árboles promisorios o semilleros son árboles dominantes, de diámetro superior no menor de 75 cm, copa de diámetro pequeño y balanceada, fuste recto y cilíndrico, con ramas cortas, de poco diámetro y ángulo de inserción en el fuste lo más cercano a 90°, presentan buena tolerancia a enfermedades, deficiencias y plagas. Estos criterios son definidos por BANSEFOR.
- Práctica de recolección: debido a que los árboles son altos y por el tipo de fruto, se utilizan espolones, aplicando la técnica de escalamiento con utilización del cinturón con arnés, lazo o línea de seguridad con un largo de 36,5 m, una vara de aluminio de 4,50 metros de largo con un gancho tipo S en el extremo, ropa resistente y confortable, guantes de lana, botas altas que protejan el tobillo y que tengan tacón alto, casco de seguridad, costales de yute, etiquetas de identificación y machete. Para la colecta de las cápsulas se utiliza la vara de extensión y la cuchilla tipo S, con movimientos de jalar y empujar se logra cortar el pedúnculo o desprender únicamente el fruto. El recipiente que se utiliza para transportar los frutos es el saco de yute.
- Rendimiento: en la recolección un escalador con experiencia puede cosechar aproximadamente 1,7 sacos con fruto por día con el apoyo de otra persona.

4.11. Acondicionamiento

- Postmaduración de la fruta: la actividad de limpieza se efectúa bajo sombra y buena ventilación, eliminando hojas ramas y basura que se haya transportado, cápsulas inmaduras y enfermas se desechan. Los frutos antes de limpiarse se colocan en cribas o cajas de madera que tienen como base malla metálica y plástica siempre bajo sombra y buena ventilación.
- Secado de la fruta: los frutos luego de ser colocados en cajas o sobre lonas se mantienen durante 1 o 2 días bajo sombra, los frutos se deben colocar dispersos para un buen secado y abertura de las cápsulas.
- Extracción de la semilla: la extracción de la semilla es manual, son golpeadas las cápsulas que no han abierto sobre una superficie dura para remover las valvas, la semilla al momento de extraerse es desalada y colocada sobre las cajas con malla. Luego se expone al sol por un período de 7 horas removiendo la semilla en forma suave y constante hasta que quede bien seca.
- Secado de la semilla: las cápsulas se transportan en sacos de yute y se dejan secar en un lugar seco y cubierto por hasta 5 días, después de lo cual se pueden poner bajo el sol a secar por periodos de hasta 4 horas diarias durante 3 días.
- Rendimiento. un saco con fruto tiene el equivalente de 2 kg de semilla.

4.12. Conservación y viabilidad

- La semilla de caoba se puede almacenar con contenidos de humedad de 6 % y 12 %, dentro de bolsas plásticas bien herméticas y dentro de botes plásticos herméticos que luego se ingresan en un cuarto frío que mantiene la temperatura de 5 °C a 6 °C, se puede utilizar la parte baja de un refrigerador para almacenar este tipo de semilla.
- Viabilidad por germinación: según en un kilogramo de semilla de caoba hay 1 800 semillas viables, con 88 % de viabilidad de germinación. Almacenadas en refrigerador de 4 °C a 5 °C en bolsas plásticas herméticamente selladas conservan la viabilidad por más de cuatro años.

4.13. Tratamientos pregerminativos

La especie no requiere de tratamientos pregerminativos, esta germina en 7 a 14 días.

4.14. Producción de plantas

4.14.1. Métodos de propagación sexual

- Plantas en bolsas: para la producción en bolsa se utilizan de 2 a 3 semillas por bolsa, colocándolas a una profundidad de 1 a 3 centímetros. La siembra en bolsa directa se coloca la semilla cada bolsa, se cubre sobre los tabloncillos para crear condiciones adecuadas de germinación, principalmente temperatura y humedad; así mismo, para evitar que las gotas de la lluvia descubran las semillas y luego, se aplica riego profundo

nuevamente. Cuando se siembra directa a bolsa, el proceso de germinación no es uniforme, empieza a germinar aproximadamente a los 17 días después de la siembra y se prolonga por un periodo aproximado de 20 días después de germinadas las primeras semillas. Fecha de siembra directa a la bolsa el 1 de mayo y fecha de trasplante a campo definitivo 1 de septiembre.

- Pseudoestacas: las plantas deben tener un diámetro al cuello de la raíz de al menos 2 cm (de manera práctica, se dice que deben tener el diámetro del dedo pulgar), y se preparan con 15-20 cm de tallo y 20-40 cm de raíz.

4.14.2. Métodos de propagación asexual

- Estacas: en un estudio de 192 estacas plantadas, el 69,8 por ciento no tuvo éxito en enraizamiento. Sobre las 32 estacas que lograron enraizar, la menor tasa de mortalidad se presentó con 40,6 % en las estacas basales, correspondiendo la mayor tasa (87,5 %) a las estacas subapicales. Hacia la novena semana del ciclo empezó a producirse marchitamiento y caída de los brotes foliares, presentándose posteriormente una abundante pudrición de la corteza y de los callos formados en las estacas. La caoba podría enraizar, siempre que el estacado dure más de doce semanas en presencia de adecuadas condiciones de ambiente.

4.14.2.1. Substratos en vivero

- Cajas germinadoras: seleccionar un sitio plano o ligeramente inclinado con buen drenaje. Seleccionar un sitio cercano a una fuente de agua para poder regar con facilidad.

El terreno debe estar libre de piedras, troncos y aguas estancadas. El germinador debe cercarse para protegerlo de los animales. Tamaño del germinador: ancho: 1,20 metros, para facilitar los trabajos; largo: depende de la cantidad de semilla que se va a tratar, para facilidad de manejo no más de 15 metros; altura: debe ser de 25 centímetros como mínimo.

- Bolsas y camas de vivero: proporción a utilizar 2:1:1; es decir, 2 partes de tierra negra que presente bajo porcentaje de arena, 1 parte de arena y 1 parte de material orgánico. Si la tierra negra ya contiene arena en el porcentaje adecuado, no es necesario agregar más.

4.15. Establecimiento de plantaciones

4.15.1. Comportamiento ecológico de la especie

- Temperamento: se clasifica como una especie intolerante, no puede sobrevivir a la sombra densa. En la luz débil bajo un dosel forestal tropical denso, las plántulas de la caoba que germinan por lo usual fracasan en sobrevivir por más de unos pocos meses. Bajo una luz filtrada, las plántulas podrán persistir por muchos años, creciendo de manera lenta en una condición suprimida. El crecimiento más rápido se alcanza bajo una luz solar plena con protección lateral. Las plántulas

responden de manera rápida a la liberación de la vegetación terrestre baja y el dosel superior. Se mostró que las plantaciones de caoba reciclan los nutrientes de manera eficiente y sostuvieron casi tantas especies del sotobosque como los adyacentes bosques secundarios naturales. Tiene las ventajas de un rápido crecimiento, una tolerancia a la sequía y a los suelos pobres y un follaje verde oscuro.

- Comportamiento radical: produce una vigorosa raíz pivotante en la etapa de plántula. Añade muchas raíces laterales finas que se engruesan de manera gradual para formar un extenso sistema radical lateral. Los árboles de mayor edad desarrollan unos contrafuertes de pequeños a medianos. Las raíces laterales de los árboles de gran tamaño se ven expuestas sobre el terreno por un metro o más en los sitios muy húmedos y en los suelos arcillosos.

4.16. Instalación

- Preparación del terreno: en la finca Pilonos de Antigua, ubicada en Petén, municipio de San Francisco, la eliminación de la vegetación se hizo en forma manual con machetes, la preparación del suelo antes de la plantación se hizo arando el suelo. Anteriormente, el sitio donde se estableció la plantación era suelo de potrero, la eliminación de la vegetación al momento de establecerla fue de forma mecánica con un Bulldozer con escarificador (Ripper) donde se realizó un arado superficial para descompactar el suelo; se realizaron hileras o surcos con camellones de 30 cm de alto aproximadamente y se aplicó cal (CaO) para reducir su acidez. En la finca El Ramona III, ubicada en Petén, municipio de Las Cruces, la eliminación de la vegetación se hizo en forma manual; la preparación del suelo antes de la plantación se hizo

arando completamente el suelo. Anteriormente, el sitio donde se estableció la plantación era guamil (matorrales secos) y el método de preparación del suelo utilizado fue mecánico con la ayuda de un tractor.

- Distanciamiento de siembra: la caoba también puede establecerse en combinación con cultivos agrícolas anuales o perennes (como café y cacao), a espaciamientos amplios de hasta 15 m x 15 m, dependiendo del cultivo y los objetivos. Los insumos y cuidados que puedan brindarse al cultivo agrícola además benefician a los árboles, los cuales pueden crecer más rápidamente y superar la fase de susceptibilidad al barrenador en menor tiempo. Otro sistema que ha sido utilizado es la plantación de enriquecimiento de bosques. En este caso se limpiaron franjas de unos 2 m de ancho en el bosque, espaciadas a 10 m -12 m entre franjas, y se planta la caoba a lo largo de las franjas, típicamente a espaciamientos de 2-5 m, dependiendo de la intensidad de manejo que se pretenda dar a la plantación; espaciamientos menores requerirán raleos en menor tiempo. En la finca Pilonos de Antigua el espaciamiento entre árboles es de 3 m entre árbol y 6 m entre hilera o surco. En las fincas El Ramonal III y Chultunes, la siembra se realizó en hileras o surcos sembrando los arboles a un espaciamiento de 3 m x 3 m (al cuadrillo).
- Fertilización inicial: en la finca Pilonos de Antigua, se utilizaron 3 libras de abono orgánico, fertilizando con fósforo MAP 10-50, TRIPLE (18-46-0) (más de 3 onzas por producto para cada árbol). En la finca El Ramonal III, para mejorar el sustrato del suelo y suministrar nutrientes a las plantas se fertilizó utilizando 2 copas Bayer de Triple 15 (15-15-15), aplicando una al frente de la planta, y otra detrás. En la finca Chultunes, para proporcionar nutrientes a las plantas y mejorar el sustrato, se

fertilizó con Triple 15 (15-15-15) los primeros 6 meses de establecida la plantación.

- Control inicial de malezas: en la finca Pilonos de Antigua se preparó el terreno limpiándolo mecánicamente con capeadora y se aplicaron químicos para eliminar malezas.
- Efecto de la época de establecimiento (sobrevivencia): en la finca Chultunes reportaron que, si volviesen a plantar Caoba, lo harían en el mes de octubre, ya que en estas fechas aproximadamente comienza el invierno y las lluvias aseguran la germinación de las semillas, así como la probabilidad de sobrevivencia de las plántulas hasta en un 80 % aproximadamente.

4.17. Introducción en sistemas agroforestales

En las siguientes fincas se han utilizado sistemas agroforestales:

- En la finca Pilonos de Antigua la plantación de caoba en el primer año se combinó con maíz (*Zea mays*) y en el tercer año la plantación se asoció con cacao (*Theobroma cacao*).
- En la finca El Ramonal III, la plantación en el primer y segundo año se combinó con maíz.
- En la finca Chultunes, la plantación hasta el momento está combinada con maíz (*Zea mays*) y pepitoria (*Cucurbita máxima*).

4.18. Silvicultura de plantaciones

4.18.1. Manejo silvicultural de plantaciones

Swietenia macrophylla King produce una copa muy angosta durante los primeros años, que tarda en cerrar, de manera que se deben hacer limpiezas regulares a lo largo de las fajas de plantación, al menos durante los primeros 3 o 4 años. En sistemas de enriquecimiento del bosque se debe controlar el crecimiento de lianas y bejucos, que prosperan vigorosamente en estos ambientes y pueden dañar seriamente los árboles.

En la finca Pilonos de Antigua como parte del manejo silvícola de la plantación, se tiene un sistema efectivo de control de malezas, así como medidas de prevención y control de incendios por medio de chapeos y monitoreos en el perímetro del área de plantación la cual se encuentra libre de plagas y enfermedades. Los silvicultores realizan podas de las ramas laterales y hasta el momento no han realizado ningún raleo debido a la edad de los árboles.

En la misma finca, luego de establecida la plantación, se tuvieron pérdidas de árboles por crecimientos deficientes y por ataques de la polilla barrenadora (*Hypsipyla grandella*) pero en un porcentaje muy bajo en comparación con el total de los individuos sembrados; por otra parte, luego de esas pérdidas no se han replantado. Se aplicaron pesticidas elaborados por la misma finca (no dieron la fórmula), así como fertilizantes en el primer año. Además aplicaron un control biológico para reducción de plagas y enfermedades, pero el componente activo de dicho control es otro secreto celosamente guardado por los técnicos de la plantación.

En la finca El Ramonal III los silvicultores poseen un sistema efectivo de podas y control de malezas realizándolo manualmente con machete; también, se aplican medidas efectivas de prevención y control de incendios por medio de la realización de rondas mecanizadas, utilizando un tractor en el perímetro de la plantación. Al momento de la medición no se observaron ataques por plagas o patógenos, pero si se localizaron 40 torceduras basales en la mayoría de los individuos debido a los ataques de *Hypispyla grandella* en los primeros años de establecida la plantación.

Esta plaga regularmente ataca en la época de invierno y solo en el primer año se combatió químicamente con pesticidas; también, se reportaron pérdidas de árboles debido a la humedad por el terreno inundable. Se realizaron raleos con motosierras cuando estos se encontraron muertos, pero no se han replantado árboles luego de estos sucesos.

En la finca Chultunes, el sistema efectivo de control de malezas que manejan los silvicultores es la aplicación de herbicida químico de nombre Gramoxone; este herbicida destruye los tejidos verdes, pero al no entrar en contacto con las plantas no afecta su desarrollo, es aconsejable aplicarse cuando se conoce previamente que la plántula ya puede sobrevivir por sí sola, aproximadamente a unos 40 cm de alto. La aplicación debe ser con mucho cuidado debido a su toxicidad ya que puede afectar la salud de la persona que lo aplica al inhalarse o al contacto con ojos y boca.

El raleo se efectúa en árboles enfermos y torcidos, debido a esto se reportan pérdidas de individuos. A pesar de esto no se han replantado árboles, ya que las nuevas plántulas no lograrían competir con los de su misma especie debido a la edad de los individuos ya establecidos.

Los ataques de la polilla barrenadora son controlados aplicando pesticidas foliares un poco antes de y en sucesión de la época lluviosa; no se observaron plantas enfermas ni con plagas al momento de realizar la medición respectiva de las parcelas permanentes de muestreo.

4.18.2. Poda

La caoba muestra un auto poda bastante satisfactoria, sobre todo en sistemas con sombra lateral, pero en espaciamientos amplios puede ser un problema la aparición de una copa baja que deja un fuste corto. Los árboles plantados para aserrío deben podarse para dejar un fuste único, largo y limpio de ramas, dejando el follaje necesario para el buen crecimiento del árbol. En el caso de podas sanitarias ante ataques del barrenador, estas se deben hacer en dos pasos: primero eliminando el brote dañado o atacado y unos tres meses después, una vez que se ha definido el eje dominante, eliminar los otros. Esto evita la formación de bifurcaciones en la parte baja del árbol, que será la más valiosa desde el punto de vista maderable.

Este procedimiento se repite las veces que sea necesario para lograr una buena sección de fuste recto o hasta que el ataque se diluya en ramas secundarias donde el efecto no es tan importante. En el caso de árboles más viejos, que han respondido al daño emitiendo dos o más ejes, debe efectuarse una poda para dejar solamente el mejor eje.

4.19. Manejo de plagas y enfermedades

4.19.1. Plagas y enfermedades en vivero

Tabla II. Agentes dañinos de la caoba (*Swietenia macrophylla* King) reportados en Guatemala

Nombre común del agente dañino	Nombre científico del agente dañino	Tipo de agente dañino	Estructura atacada	Ataques / peligrosidad
Viruela	<i>Cercospora</i> Sp.	Patógeno	Follaje	Solo afecta hojas maduras En los años 2009-2010 se presentaron ataques a plantaciones
	<i>Phyllachora</i> Sp.	Patógeno	Follaje	Afecta las hojas maduras
	<i>Pestalotiopsis</i> Sp.	Patógeno	Follaje	
Barrenador	<i>Hypsipyla Grandella</i>	Insecto	Fuste	Ataca en estado latizal y estado fustal En los años 2009-2010 se presentaron ataques a plantaciones
Termitas o comején		Insecto	Follaje	Atacan al tronco en su interior creando un túnel de supervivencia.

Fuente: elaborado propia.

4.20. Plagas y enfermedades en vivero

- Gusano taladrador de las meliáceas *Hypsipyla grandella*

La principal plaga de los árboles de Caoba (*Swietenia macrophylla* King) es el gusano taladrador de las meliáceas, siendo más severo su ataque en época lluviosa. Este insecto es una palomilla (Lepidóptera, el mismo orden de las mariposas), que ocasiona daños en su etapa de oruga. El tamaño de los adultos varía de 20 mm a 40 mm de expansión alar. La oruga es de tipo erusiforme con cabeza de color café y en su madurez alcanza de 20 mm a 25 mm de longitud.

Figura 4. **Oruga de *Hypsipyla grandella* alimentándose en el interior de los tejidos de caoba**



Fuente: Etapa de oruga de *Hypsipyla grandella*, alimentándose en el interior de los tejidos de caoba. [https://www.google.com.gt/search?q=hypsipyla+ grandella+ciclo+ de+vida&espv=2&biw=1517&bih=654&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwj7kN_1r73RAhWFVyYKHRecBpgQsAQIHg#imgsrc=EG_mollvBuyoTM%3a](https://www.google.com.gt/search?q=hypsipyla+grandella+ciclo+de+vida&espv=2&biw=1517&bih=654&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwj7kN_1r73RAhWFVyYKHRecBpgQsAQIHg#imgsrc=EG_mollvBuyoTM%3a). Consulta: 12 de febrero de 2016.

Figura 5. **Adulto de *Hypsipyla grandella* que deposita sus huevos en los tejidos de caoba**



Fuente: Adulto de *Hypsipyla grandella*, etapa en la que deposita sus huevos en los tejidos de caobah. https://www.google.com.gt/search?q=hypsipyla+grandella+ciclo+de+vida&espv=2&biw=1517&bih=654&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwj7kN_1r73RAhWfVYKHRecBpgQsAQIHg#imgsrc=_pj2BPk5OkvK7M%3a. Consulta: 12 de febrero de 2016.

El daño principal es la barrenación de los brotes de caoba, con túneles de hasta 20 cm de longitud, que producen la destrucción u obstrucción de los tejidos conductores de agua y savia dentro de la planta, con la subsecuente muerte de los brotes que se forman de color grisáceo a negro. Los ataques sucesivos no permiten el crecimiento en altura y diámetro de los árboles y se produce la bifurcación y mal formación.

Se considera que el gusano barrenador de las meliáceas, *Hypsipyla grandella* Zeller, es el principal factor limitante para el establecimiento de plantaciones de caoba en América debido al daño irreparable que causa en dichas especies.

Algunas publicaciones documentan aspectos biológicos y ecológicos de *Hypsipyla grandella* Zeller, incluyendo aspectos sobre su control mediante prácticas silviculturales y el uso de químicos; es este último método de control el principal causante de problemas como: riesgos para la salud humana, contaminación ambiental con daños a la vida silvestre, perturbación del equilibrio natural (provocando resurgencias de plagas), resurgimiento de plagas secundarias, desarrollo de poblaciones resistentes a plaguicidas, alto costo económico, entre otros.

Figura 6. **Daños causados por la oruga de *Hypsipyla grandella* en plantaciones de caoba**



Fuente: *Daños causados por la oruga de Hypsipyla grandella en plantaciones de caoba.*

https://www.google.com.gt/search?q=hypsipyla+grandella+ciclo+de+vida&espv=2&biw=1517&bih=654&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwj7kN_1r73RAhWfVYKHRcBpgQsAQIHg#tbm=isch&q=cedro+atacado+por+hypsipyla+grandella&imgsrc=yLOAVSuXAI9gLM%3A.

Consulta: 12 de febrero de 2016.

Según el estudio, el mayor daño de la *Hypsipyla grandella* es en el estado latizal y estado fustal:

En la reforestación forestal de las comunidades Las Tortugas y San Benito I del municipio de Cobán, Alta Verapaz, la caoba se ve más afectada por *Hypsipyla grandella*. En ambos casos, en cada hectárea hubo un porcentaje de

más del 50 % de plantas dañadas. En el área reforestada, la principal plaga *Hypsipyla Grandella* no se observó de día, siendo su ataque nocturno; dañó las semillas, frutos tiernos y también plantas bajo vivero forestal hasta la etapa adulta de los árboles, según resultado de censo realizado en los tres estados brínzal, latizal y fustal.

En la realización del censo forestal, el número de plantas sanas fue menor (1 215 plantas), lo que implicó un menor porcentaje de plantas sanas. El número de plantas muertas es menor que las plantas dañadas (563 plantas) en los tres estados de la planta.

Tabla III. **Agentes dañinos de la caoba (*Swietenia macrophylla* King) reportados en Guatemala en Plantaciones**

Nombre común del agente dañino	Nombre científico del agente dañino	Área	Año
Viruela	<i>Cercospora</i> sp.	16,79 ha	2009
		20,68 ha	2010
		10,60 ha	2011
		20,68 ha	2012
Barrenador	<i>Hypsipyla grandella</i>	25,65 ha	2009
		95,67 ha	2010
		75,72 ha	2011
		67,21 ha	2012

Fuente: Guatemala, Departamento de Protección forestal del INAB. *Resumen de plagas y enfermedades forestales áreas bajo manejo INAB 2009-2014*. p. 87.

- Cercospora sp
 - Síntomas: en hojas maduras, sobre el haz se observan manchas sin bordes definidos color marrón generalmente con un halo amarillento a su alrededor, tornándose de color gris, posteriormente el tejido se adelgaza y adquiere un aspecto quebradizo. Sobre el envés en la superficie de las hojas se desarrollan los esporodoquios.

- Signos: en la superficie del envés de las hojas se desarrollan los esporodoquios que se pueden observar con ayuda del estéreo microscopio. Aquí se encuentran los cuerpos fructíferos constituidos por un racimo de conidióforos que forman una masa de hifas donde emergen las conidias alargadas y multicelulares.
- Importancia: fue encontrada en una plantación de *Swietenia macrophylla* King en Petén afectando hojas maduras, en las plantaciones muestreadas el patógeno se reportó en un 100 % de incidencia.

4.21. Manejo de bosques naturales

En Guatemala, la caoba se encuentra dentro de los bosques latifoliados y se agrupa en el siguiente grupo económico: AAACOM: especie altamente aceptable tanto en el mercado nacional como internacional, con un precio plenamente superior a las demás especies comerciales.

Es importante separar acciones de manejo dirigidas a mantener la sostenibilidad a mediano y largo plazo.

La sostenibilidad a mediano plazo se refiere a una serie de aprovechamientos, en donde se vuelven a cosechar las mismas especies en cantidades semejantes a las que se tenían al principio; o sea que entre un ciclo de corta y otro en la misma área, el rendimiento no debe disminuir sustancialmente. El raleo de liberación, el cual tiene el propósito de aumentar la tasa de crecimiento de ciertas especies seleccionadas, es una acción dirigida hacia la producción sostenible a mediano plazo. Si este tratamiento logra aumentar la tasa de crecimiento de los individuos inmaduros, se podría reducir

el ciclo de corta, con lo que se logra un área anual de aprovechamiento más grande y mayor volumen por año.

La sostenibilidad a largo plazo tiene que ver con los esfuerzos dirigidos, al nivel de especie, para asegurar una regeneración adecuada; este es el principio fundamental de un sistema silvícola.

Los parámetros más importantes del marco silvicultural son:

- El diámetro mínimo de corta
- El ciclo de corta
- La intensidad de corta y, derivado de estos
- El volumen anual de corta permisible

En muchos de los bosques naturales tropicales no existe información detallada sobre el potencial productivo del bosque, por especie y por tamaño del individuo; entonces, estos parámetros se suelen determinar con base en datos del inventario general, o de PPM en bosques similares. En este proceso se toman en cuenta aspectos ecológicos, técnicos, sociales y económicos.

4.22. El diámetro mínimo de corta (DMC)

Es importante que el técnico que elabora el plan de manejo entienda cómo justificar la determinación del DMC según los datos del inventario y datos aceptables sobre la dinámica del bosque o bosques similares en la región. Si bien las normas legales de los países de Centroamérica tienen diámetros de corta predefinidos, estas mismas normas dejan abierta la posibilidad de proponer DMC diferentes, previa justificación técnica. En este acápite se

muestra un método sencillo para definir el DMC y se mencionan otras consideraciones a tomar en cuenta en la determinación del DMC.

4.23. Distribución diamétrica

El método más sencillo para definir el DMC es mediante un análisis de la distribución diamétrica de la especie de interés. No tiene sentido fijar un DMC de, por ejemplo, 60 cm si la distribución diamétrica muestra que muy pocos individuos alcanzan este diámetro.

Otras consideraciones que se debe tomar en cuenta en la decisión sobre el DMC son:

- El DMC tiene que ser inferior al diámetro de la mayoría de los individuos que se encuentran podridos. Estos aspectos se pueden conocer mediante el control de registros durante el aprovechamiento por especie y diámetro.
- Entre menor sea el DMC, mayor será el porcentaje de desperdicios del aserrío, especialmente con equipo rústico; esto dificulta el aprovechamiento de diámetros menores de 40 cm.
- Los costos por m³ de madera extraída aumentan con diámetros menores.

4.24. Balance entre uso y conservación

Los efectos negativos del aprovechamiento en la capacidad del bosque para producir y reproducir han llevado a reconocer la importancia de buscar un balance entre el uso y la conservación del bosque. La determinación del DMC puede jugar un papel en la búsqueda de este balance, si se toman en cuenta consideraciones ecológicas, relacionadas con el potencial de crecimiento de las

especies en el bosque y la conservación de un alto nivel de capacidad reproductiva.

Las siguientes son algunas de las consideraciones que se debe tomar en cuenta en la determinación del DMC para lograr un balance entre uso y conservación:

- El DMC debe permitir un equilibrio entre el área basal aprovechada y el potencial del bosque para recuperar esa pérdida dentro del ciclo de corta prevista.
- El DMC preferiblemente debe ser mayor al rango de DAP en el que la especie tiene su máxima producción de semillas. Esto es aún más importante para la caoba ya que es una heliófita durable, debido a que no hay un banco de brinzales típico de las esciófitas y la permanencia de la especie depende directamente de la disponibilidad de semillas al momento de la creación de claros.

El DAP óptimo financiero para cortar el árbol es cuando el valor del aumento en madera del siguiente año equivale a un porcentaje predeterminado del valor total del árbol en este año. Esto se llama determinar la madurez financiera del árbol. Este método ayuda a determinar con mayor exactitud dónde está el DAP óptimo en el tramo entre el DAP con el crecimiento medio anual máximo y a partir del cual el árbol ya no crece.

Generalmente, el DAP óptimo para cortar el árbol según el método de madurez financiera se encuentra entre el DAP que dé el crecimiento medio anual máximo y el DAP a partir del cual el árbol ya no crece. Bajo ninguna

circunstancia (desde el punto de vista financiero) debe cortarse el árbol antes de llegar a este DAP.

Entonces, para estimar el DMC se debe usar los datos de incrementos de PPM, calculando el incremento volumétrico medio anual y su relación con el DAP, y determinar el momento en que esta relación llega a su punto máximo.

4.25. Consideraciones netamente silviculturales

Para complicar el tema aún más, determinar el DMC desde el punto de vista silvicultural implica que sólo se cortarían árboles ecológica y financieramente maduros. Sin embargo, para asegurar que se mantenga un bosque vital y de máximo crecimiento, puede ser necesario eliminar árboles más jóvenes que compiten con sus vecinos, a veces de las mismas especies. También, es atractivo mantener la distribución relativa de los individuos por clase diamétrica para conservar la diversidad de hábitats en el bosque y asegurar una producción frecuente de árboles maduros. En ambos casos, se podría decidir cortar árboles sin tomar en cuenta un DMC. La decisión de cortar un árbol dependería de su vitalidad en el momento de la cosecha y del grado de competencia que ejerce sobre vecinos de especies comerciales y de buena vitalidad.

Entonces, ¿qué hacer para determinar el mejor DMC? Como se ve, hay que tomar en cuenta varios aspectos en la decisión sobre cuál debe ser el DMC. En el caso idóneo, se tomarían en cuenta todos, y se aplicaría un DMC que da el mejor balance entre uso y conservación.

En general, el DMC depende de los tamaños máximos encontrados en el bosque, de la distribución diamétrica de los individuos por grupos de especies, del ciclo de corta y del crecimiento estimado para estas especies.

4.26. Regulaciones en Guatemala

4.26.1. Algunas consideraciones en la determinación del diámetro mínimo de corta (DMC)

Según la *Ley Forestal* Decreto 101-96, no existe una norma que establezca los DMC, siendo el forestal responsable de la realización del plan de manejo quien determinará el DMC. Actualmente, los diámetros mínimos de corta en la Reserva de la Biosfera Maya (RBM) oscilan entre 55 cm a 60 cm para la especie de caoba. Los diámetros mínimos de corta pueden ser objeto de modificación, si se justifica a través de la distribución diamétrica, el número de individuos. La duración del ciclo de corta se determinará en función de las tasas de crecimiento de las especies a manejar, la abundancia de dichas especies y los factores socioeconómicos del propietario. En cualquier caso, el ciclo de corta no debe ser menor de 20 años.

Lamprecht, menciona que bajo este sistema del diámetro mínimo de corta, es posible garantizar una producción maderera cuando:

- Existe suficiente número de árboles gruesos para un aprovechamiento rentable.
- El DMC ha sido fijado en un grosor suficientemente alto.
- La especie explotada presenta una distribución diamétrica regular.

Louman, indica que el DMC tiene importancia para la regulación y para mantener la sostenibilidad del recurso forestal, la determinación depende de varios factores:

- Valor de la madera.

- Tasa de crecimiento de la especie.
- Distribución diamétrica de la especie.
- Reproductividad de la especie.
- Posibilidades de venta de madera en tamaños menores o de la tecnología disponible para el procesamiento de la madera.

Louman menciona que los ciclos cortos tienen la ventaja de mantener el bosque remanente más vigoroso, la cantidad de árboles a extraer es menor, siempre y cuando el daño hecho durante el aprovechamiento es mínimo, y los caminos de arrastre sean mantenidos de manera que puedan usarlos de nuevo en el próximo ciclo. Otra ventaja es el aspecto económico, generalmente es mejor recibir ingresos lo más temprano posible para reducir el tiempo sobre el cual se pagan los costos de uso de capital. Una desventaja es que hay más intervenciones por rotación, aumentando la posibilidad de dañar la masa remanente. Los métodos de aprovechamiento de impactos reducidos adquieren importancia cuando el ciclo de corta va reduciéndose.

El manejo forestal en las concesiones forestales de la Zona de Uso Múltiple de la RBM (ZUM/RBM), bajo los lineamientos fijados y monitoreados por el Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP), garantizan niveles de extracción de bosques no perjudiciales a largo plazo y estos son DMC (55 o 60 cm) y de IC basada en crecimiento, 4 mm/año.

4.27. Bases del Conap para el manejo de la caoba

(CAP) en bosques latifoliados, se estimará en función del volumen por clase diamétrica del inventario, el ciclo de corta, el diámetro mínimo de corta la intensidad de corta y una aproximación de las tasas de crecimiento y mortalidad.

La determinación del diámetro mínimo de corta (DMC) en bosques latifoliados deberá garantizar la regeneración de la especie, la madurez óptima en el desarrollo del árbol y un estado fitosanitario favorable, su determinación deberá considerar los siguientes lineamientos:

- Tomar como base la abundancia, el tipo de bosque y la distribución diamétrica por especie reportada en el inventario forestal.
- Debe considerarse la integridad ecológica, la consulta de estudios de crecimientos, estudios fenológicos y las exigencias del mercado.

El cálculo de la intensidad de corta para especies latifoliadas deberá realizarse con base en los siguientes lineamientos:

- La distribución diamétrica del área basal (actual y futura) por especie y por estrato, tomando como referencia el diámetro mínimo de corta, el ciclo de corta, el incremento medio anual y la mortalidad; la intensidad de corta máxima en términos de área basal, no podrá ser mayor al 80 % del área basal disponible por encima del diámetro mínimo de corta;
- Para las especies que poseen poblaciones significativas de árboles sobremaduros (mayores a 90 cm de DAP), se admite aprovechar hasta un 65 % del área basal disponible; para los casos en que la proporción del área basal recuperable para un segundo ciclo de corta es baja, se podrá aprovechar hasta un 20 % de área basal no recuperable, toda vez no se supere el umbral máximo permitido (80 %), asegurando por otros mecanismos la sostenibilidad y recuperación del bosque a través de su enriquecimiento.

- Para efectos de determinar la intensidad de corta, los valores de referencia sobre el incremento diamétrico y mortalidad de árboles deben provenir de estudios de parcelas de investigación locales debidamente reconocidos por el Conap, o en su defecto, de otras investigaciones válidas para la región.
- La proporción de área basal recuperable debe ser determinada conforme las fórmulas generadas por Conap, como se define en la curva de distribución diamétrica del bosque bajo manejo.

Para la selección de la tecnología a implementar en el manejo forestal sostenible, se deberán considerar los siguientes lineamientos:

- Todo plan de manejo forestal deberá especificar y justificar el tipo de tecnología a utilizar en las operaciones forestales.
- Seleccionar la tecnología apropiada a la escala de las operaciones forestales; evitar el derramamiento de combustibles, aceites u otras sustancias contaminantes.
- Seleccionar tecnología que genere el mínimo impacto ambiental.
- Realizar el debido mantenimiento a cualquier herramienta o equipo utilizado.

Todo plan de manejo forestal y/o plan operativo anual deberá contener información de carácter económico y/o financiero, así como proyecciones de mercado. El objetivo es que dicha información se constituya en una herramienta de apoyo en la toma de decisiones para el propietario o poseedor de la unidad

de manejo. Todo plan de manejo forestal deberá describir las actividades de aprovechamiento, silvicultura y protección forestal según los formatos aprobados por el CONAP.

Para la aplicación de los tratamientos silviculturales en bosques latifoliados se deberá considerar lo siguiente:

- Los tratamientos básicos como enriquecimientos de áreas disturbadas, liberación de lianas en árboles de futura cosecha los cuales deben prescribirse en el plan operativo anual.
- Los tratamientos de liberación de copas basados en un muestreo diagnóstico.

En un estudio realizado en la RBM en Petén, sobre las etapas ecológicas de sucesión en guamiles (bosque joven), se calculó un IMA para caoba y cedro de 1,0 cm/año y 1,1 cm/año respectivamente, sobre un promedio de 21 años de crecimiento diamétrico inicial.

Tomando en cuenta lo anterior, para la caoba y el cedro se considera que un IMA de 0,6 cm puede ser conservador, especialmente si se mantienen los individuos libres de competición, tanto de competidores arbóreos como lianas.

Dado que la caoba es capaz de vivir por siglos, sus tasas de mortalidad deben ser menores que el promedio, lo cual fue comprobado en el estudio en Bolivia. Dicho estudio mostró una tasa anual de mortalidad para caoba en sitios bien drenados de 1,5 %, y en sitios susceptibles a inundaciones, la mortalidad fue más alta, llegando al 5,3 %.

No obstante, para las demás especies monitoreadas en los sitios inundables había un rango de mortalidad anual de 24 % a 80 %.

En Petén se considera, como una cifra mínima, que el 15 % del número total de árboles aprovechables (DAP 60 cm) de caoba deben ser árboles semilleros. Este porcentaje se basa en que aproximadamente 10 % de esta especie de tamaño comercial son defectuosos, sin un volumen comercial. Por lo tanto, es aconsejable dejar, por lo menos, un 5 % adicional para tener fuentes de materia genética aceptable.

Dados los resultados de abundancia por clase diamétrica del inventario, el ciclo de corta y una aproximación de las tasas de incremento y mortalidad, se puede estimar la corta permisible y comprobar si el ciclo de corta es suficientemente largo para proporcionar cosechas económicas en el futuro.

Se describe un método sencillo para aproximar la corta máxima permisible que toma en cuenta dichas cifras y permite pronosticar el efecto, a largo plazo, que tiene la corta permisible y la factibilidad del ciclo de corta. El método fue modificado en Petén para incluir un mínimo porcentaje de semilleros. Si hay diferencias marcadas en los precios del mercado maderero, como en Petén, se debe aplicar el método aparte para los grupos comerciales.

El siguiente cuadro es la estimación de la corta permisible para caoba para cuatro ciclos de corta, aplicando el requisito de dejar 15 % como árboles semilleros (reservados) para los dos primeros ciclos de corta.

Tabla IV. **Estimación de la corta permisible para caoba para cuatro ciclos de corta**

Clase diamétrica en el presente	15-29	30-44	55-60	60+
Años para alcanzar el DMC	+75	+50	+25	Presente
No. del ciclo de corta	años 4º	años 3º	años 2º	1º
Abundancia N/ha	0,72	0,4	0,4	1,3
Sobrevivencia %*	39	53	73	100
Abundancia al tiempo de aprobe. N/ha	0,281	0,212	0,292	1,3
No. de sobrevivientes del ciclo anterior N/ha	0,003	0,036	0,146	NA
Corta máximo permisible N/ha	0,28	0,24	0,37	1,1
Arboles reservados (semilleros) N/ha	0,004	0,008	0,068	0,200
% aprovechado del total disponible	98,6	96,8	84,5	84,6

* Sobrevivencia se estimó a un tiempo determinado en el futuro empleando la siguiente fórmula:

$$S = (1 - m)^n \cdot 100$$

donde:
m = mortalidad anual (0,0125)
n = número de años para llegar al ciclo de corta
s = Sobrevivencia en porcentaje

Fuente: STANLEY, S.A. *Guía para la interpretación de resultados de un inventario forestal para concesiones en Reserva de la Biosfera Maya, Guatemala. Turrialba, CR, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.* p. 8.

Para calcular el número de sobrevivientes del ciclo anterior se multiplica el porcentaje de sobrevivencia de la clase de interés, por el número de árboles reservados de la clase directamente mayor (por ejemplo, los 0,2 árboles/ha dejados como semilleros en la clase 60 + con una tasa de mortalidad igual a 1,25 % tendrá una sobrevivencia de 0,146 individuos/ha después de 25 años).

En el cuadro se aplica la regla de dejar un 15 % como semilleros para dos ciclos de corta. Se considera que después de 50 años de haber diseminado sus semillas, no habría necesidad de seguir con esta regla. El cuarto ciclo muestra la corta permisible maximizada, la cual ocurre cuando el porcentaje de árboles aprovechables del total disponible se acerca a 100 %.

Desde el primer ciclo de corta al segundo, la corta permisible disminuye en 66 %. Mientras que esto es una reducción significativa, el rendimiento todavía debe ser rentable. Hay una disminución entre el segundo y tercer ciclo de corta, también, desde un árbol aprovechable en cada tres hectáreas hasta un individuo en cada cuatro hectáreas. En cuanto a la sostenibilidad a nivel de especie, se debe examinar el número de semilleros/ha entre ciclos de corta. El cuadro implica que hay una reducción marcada entre los ciclos, lo que indica que se debe fomentar la regeneración de las dos especies valiosas durante el primer ciclo de corta, cuando todavía hay bastantes fuentes de semilla. Si no se realizan tratamientos para fomentar la regeneración, sería aconsejable aumentar el número de semilleros por hectárea hasta que se dejen aproximadamente 0,33 individuos/ha.

En otro estudio, el análisis se basó en el inventario y registro de datos disponibles, así como una amplia recopilación de datos sobre el terreno en once concesiones. La recuperación de las poblaciones de especies durante los ciclos de corte después de la cosecha se evaluó mediante un modelo variable de enfoques desarrollados con los conocimientos científicos hasta la fecha.

El hallazgo principal de este estudio es que la extracción de madera en la RBM es sostenible, y de hecho representa las mejores técnicas que se practican a nivel mundial para la gestión a nivel de especies en los bosques tropicales. En los niveles actuales de la cosecha, se espera que las poblaciones de especies maderables de importancia comercial recuperen densidades comerciales iniciales y los volúmenes durante el corto ciclo entre cosechas sucesivas, en promedio. Tal hallazgo, que da respaldo científico a datos empíricos, establece que la RBM, por los buenos resultados que registra, se aparta notablemente de la mayoría de otras operaciones comerciales forestales en los trópicos.

Esta conclusión es particularmente notable, ya que la mayor parte de la zona de concesión dentro de la RBM, se encuentra bajo la gestión de las comunidades forestales, cuyas capacidades para implementar la silvicultura sostenible han sido y continúan siendo cuestionadas, tanto nacional como internacionalmente.

- Ciclo de corte
 - Deben permitirse tiempos de recuperación más largos entre las cosechas en las plantaciones forestales de cedro, para que esto conduzca a tasas de producción y densidad de madera comercial más altas, sobre un número equivalente de ciclos de corte. Para la caoba, los ciclos de corta de 40 años produjeron mayores tasas de recuperación de densidad comercial, comparados con ciclos de corte de 30 o 25 años.
 - Se propone un modelo de ciclo de corte, basado en estudios de campo en gran escala a lo largo de 20 años, que incluyen todas las fases del historial de la caoba, incluyendo mortalidad por clase diamétrica, incremento diamétrico y producción de fruto. El modelo simula la cosecha y el crecimiento de las poblaciones de los POAF a través de tres ciclos de corta y cuatro cosechas; además, ofrece el valor medio para cien simulaciones con determinada densidad comercial y recuperación del volumen. El análisis de los datos de monitoreo a largo plazo disponibles para las concesiones en la ZUM de la RBM indica que la aplicación de este modelo es válida en Petén.

Si bien las simulaciones modeladas para las poblaciones de *Swietenia macrophylla* King en las concesiones de la ZUM de la RBM demostraron una

variedad de resultados de futura cosecha, en la mayoría de los POAF las prácticas actuales de manejo forestal parecieran sostenibles para múltiples cosechas. Es decir que, según los parámetros de manejo forestal usados en los POAF del 2005 y 2006 y proyectados para las futuras cosechas, las simulaciones modeladas indican que las poblaciones de caoba recuperarán su densidad y volumen comercial inicial durante los ciclos de corta entre cosechas sucesivas.

Estos resultados se derivan de dos fuentes principales: la densidad y la estructura de poblaciones extremadamente favorables en el paisaje, y un método para calcular la intensidad de corta a partir de la realidad biológica y no de exigencias financieras de corto plazo. El método de CONAP define la intensidad de corta permisible según el crecimiento esperado y el reclutamiento en las poblaciones inventariadas de árboles de futura cosecha. Este método es intuitivamente obvio y excepcionalmente raro en el manejo de los bosques tropicales del mundo.

En la evaluación se encontraron mayores densidades promedio de brinzales y latizales de *Swietenia macrophylla* King en los POAF del 2005 y 2006, en comparación con los POAF 2015. Esto sugiere que la corta aparentemente mejora la capacidad de regeneración de la caoba. Si los concesionarios decidieran invertir en prácticas silviculturales, se podrían acelerar las tasas de crecimiento, mediante tratamientos a esas densidades de brinzales y latizales para mejorar las futuras cosechas.

Se concluye que:

- Según los resultados obtenidos, se puede concluir que las prácticas de manejo forestal usadas en la zona de uso múltiple de la Reserva de la

Biosfera Maya (ZUM/RBM) están entre las mejores prácticas que se emplean a nivel de especies en los bosques tropicales. La determinación e implementación de la intensidad de corta a partir de la biología de la especie significa un genuino avance hacia la producción sostenible de madera y merece ser reconocida y replicada en otras regiones.

- Con un alto grado de certeza, las poblaciones de *Swietenia macrophylla* King podrán recuperar la densidad comercial precosecha durante el primer ciclo de corta y entre cosechas. Este resultado es aparentemente sostenible a lo largo de cosechas repetidas, si se siguen usando las prácticas de manejo forestal que actualmente se emplean.
- La recuperación del volumen comercial de *Swietenia macrophylla* King será menor que la recuperación de la densidad durante el primer ciclo de corta, por lo que, en promedio, las segundas cosechas serán más pequeñas. El volumen de madera producido podría ser igual o mayor que el nivel de cosecha inicial en la tercera y cuarta cosechas, si se mantienen los actuales parámetros de manejo.
- Poner énfasis en las prácticas silviculturales que ayuden a reducir la mortalidad y aumentar las tasas de crecimiento de árboles comerciales, de futura cosecha y juveniles. Por ejemplo, la corta de lianas antes y después del aprovechamiento para liberar la copa de árboles de especies comerciales es la forma más efectiva de reducir la mortalidad y acelerar el crecimiento diamétrico a largo plazo.

Grogan y sus colegas se basaron en las normas de CITES, con el fin de demostrar si el aprovechamiento de árboles maderables no perjudica a las poblaciones forestales.

4.28. Crecimiento y productividad de plantaciones

4.28.1. Metodología de seguimiento y evaluación de crecimiento en Guatemala

Para apoyar la planificación y ejecución del manejo silvicultural por parte de los usuarios del programa de incentivos forestales (PINFOR) y/o propietarios de los proyectos de reforestación, el Instituto Nacional de Bosques decidió evaluar el crecimiento en plantaciones forestales de la caoba.

En la implementación de su programa de monitoreo, el Departamento de Investigación Forestal, apoyado por personal de las subregiones del INAB, instaló paulatinamente un total de 72 parcelas permanentes de muestreo (PPM) en plantaciones de caoba, distribuidas en todas las regiones de la RBM. Actualmente, el crecimiento de la caoba ha sido monitoreado en 20 municipios ubicados en 7 departamentos del país.

El cuadro siguiente da mayores detalles acerca de estas 72 PPM.

Tabla V. Número de parcelas permanentes de medición (PPM) e individuos controlados por el INAB en plantaciones de *Swietenia macrophylla* King: por edad de las plantaciones y número de mediciones

Edad de las plantaciones número de mediciones grado de mezcla	Número de parcelas	Número de individuos inicial	Número de individuos a dic 2015
Edad de 0-5,0 años	9	705	705
una sola medición	9	705	705
$G_{mezcla} < 50 \%$	1	33	33
$G_{mezcla} \geq 85 \%$	8	672	672
Edad de 5,1-10,0 años	22	667	664
una sola medición	18	542	542
$G_{mezcla} < 50 \%$	14	255	255
$50\% \leq G_{mezcla} < 85 \%$	1	62	62
$G_{mezcla} \geq 85 \%$	3	225	225
2-5 mediciones	1	105	105
$G_{mezcla} \geq 85 \%$	1	105	105

Continuación de la tabla V.

6 mediciones y más	3	20	17
$G_{mezcla} < 50 \%$	3	20	17
una sola medición	12	505	505
$G_{mezcla} < 50 \%$	7	226	226
$G_{mezcla} \geq 85 \%$	5	279	279
2-5 mediciones	5	39	30
$G_{mezcla} < 50 \%$	5	39	30
6 mediciones y más	11	202	151
$G_{mezcla} < 50 \%$	7	51	39
$G_{mezcla} \geq 85 \%$	4	151	112
Edad de 15,1 y más años	13	638	603
una sola medición	9	467	467
$50 \% \leq G_{mezcla} < 85 \%$	6	281	281
$G_{mezcla} \geq 85 \%$	4	186	186
2-5 mediciones	2	61	53
$50 \% \leq G_{mezcla} < 85 \%$	2	61	53
6 mediciones y más	2	110	83
$G_{mezcla} \geq 85 \%$	4	110	83
Total general	72	2 756	2 658

Fuente: Guatemala, Departamento de Protección forestal del INAB. *Resumen de plagas y enfermedades forestales áreas bajo manejo INAB 2015*. p. 90.

Tabla VI. **Número de parcelas permanentes de medición (PPM) e individuos controlados por el INAB en plantaciones de *Swietenia macrophylla* King: por grado de mezcla inicial, con especies asociadas en plantaciones**

Grado de mezcla inicial del caoba	Número de parcelas	Especies asociadas [con N>5 en la parcela] (número de parcelas de ocurrencia)
$G_{mezcla} < 50 \%$	37	CEDROD (6); VOCHGU (5); CALOBR (21); TECTGR (2); ASTRGR 2(); COJOAR (1); CORDAL (1); CORDDO (2); PITHAR (7); PITHLU (1); PSEUEL (4); TABEDO (5); TABERO (6); TERMAM (4); VATALU (4); VIROKO (1)
$50 \leq G_{mezcla} < 85 \%$	9	CEDROD (1); CORDDO (3); TABERO (5)
$G_{mezcla} \geq 85 \%$	26	
Total	72	

Fuente: Guatemala, departamento de Protección forestal del INAB. *Resumen de plagas y enfermedades forestales áreas bajo manejo INAB 2015*. p. 91.

De las 72 PPM que reciben monitoreo actualmente, 43 son de instalación reciente y cuentan solamente con la medición de instalación de la parcela.

4.28.2. Crecimiento e incrementos

El análisis de la base de datos dasométricos (PPM de caoba en plantaciones forestales puras) condujo a diferenciar 5 categorías de productividad, llamadas categorías de sitio, con base en la altura alcanzada por el rodal y su edad.

Tabla VII. **Categorías de sitio para *Swietenia macrophylla* King en Guatemala**

Categoría de Índice de Sitio (m)	Rangos de índice de sitio/categoría
Pésimo (6)	<8,4
Malo (11)	8,5-12,9
Medio (15)	13-16,4
Bueno (18)	16,5-19,4
Excelente(21)	>19,5

Fuente: Guatemala, departamento de Protección forestal del INAB. *Resumen de plagas y enfermedades forestales áreas bajo manejo INAB 2016*. p. 91.

Los municipios que albergan PPM muestran las siguientes aptitudes para el crecimiento de la caoba:

Tabla VIII. **Aptitud para el crecimiento de *Swietenia macrophylla* King de municipios con PPM de la especie en Guatemala**

Departamento	Municipio	Finca	Índice de sitio [m]	Categoría de IS
Alta Verapaz	Tucurú	Guaxpom	5.4	Pésimo
	Fray Bartolomé De Las Casas	Rancho Noé	8.5	Pésimo
	Cobán	Choctun	8.2	Pésimo
	Chahal	Sacuitz	15.46	Medio
Chiquimula	Concepción Las Minas	Finca San José Las Minas	8.3	Pésimo
Guatemala	Chinautla	Hidroeléctrica Río Las Vacas	6.02	Pésimo
Izabal	Livingston	Hacienda Río Dulce	19.8	Excelente
	Livingston	Las Tablitas	15.2	Medio
	Los Amates	La Estrella	19.5	Excelente
Petén	San Francisco	Finca El Ramonal III	11.5	Malo
	Santa Ana	Chultunes	11	Malo
	San Francisco	Pilones de Antigua	15.3	Medio

Continuación de la tabla VIII.

	San Luis	Predinsa	20.1	Excelente
	Tucurú	Guaxpom	5.4	Pésimo
	Flores	Finca Virginia	7.4	Pésimo
	San José	Pantaleón Latín	7.4	Pésimo
	Flores	Finca Virginia	11.21	Malo
Quiché	Playa Grande -Ixcán	Monte Alegre	16.23	Medio
Retalhuleu	Retalhuleu	Hacienda El Establo La Cuchilla	11.5	Malo

Fuente: Guatemala, departamento de Protección forestal del INAB. *Resumen de plagas y enfermedades forestales áreas bajo manejo INAB 2016*. p. 95.

A muy grandes rasgos, los municipios que presentan las mejores condiciones de sitio para el crecimiento de caoba se ubican en los municipios de Livingston, Los Amates y San Luis. En los Amates la finca La Estrella presenta una categoría excelente. Se tiene información que la semilla fue provista por ESNACIFOR. En este lugar se realizó una limpieza manual por 7 años, se preparó el suelo haciendo ahoyado de 12 pulgadas de profundidad y se incorporó materia orgánica. Se utilizó Perfekthion, insecticida que se aplicó de forma sistemática desde el vivero. No hubo aplicación de fertilizantes. Anteriormente, el lugar era un potrero.

Por otro lado, la categoría Pésimo correspondiente a Tucurú, Fray Bartolomé de las Casas, Cobán, Concepción Las Minas, Chinautla, Flores y San José, corresponde a condiciones adversas para la especie por ubicarse lejos del rango natural de distribución para esta especie. Se tiene información extra únicamente de la Finca San José Las Minas que indica que en el segundo año de la plantación se registró un brote de *Hypsipyla*, por lo que se aplicaron los insecticidas Thiodan y Bayfolan cada 15 días por un año; así mismo se aplicó abono en media luna hasta los 3 años. Se hizo el vivero en la finca y la semilla era procedente de la costa sur.

A cada categoría de sitio corresponden valores de crecimiento, que constituyen estimadores prácticos de la producción de un rodal en el tiempo. El cuadro siguiente presenta los incrementos medios anuales (IMA) de las variables dasométricas estándares para *Swietenia macrophylla* King en las 5 categorías de sitio definidas.

Uno de las iniciativas del Departamento de Investigación Forestal es ampliar la muestra de PPMF en plantaciones de esta especie puras y mixtas para proporcionar mejor información sobre los mejores sitios para establecer esta especie y obtener los mejores resultados de crecimiento, considerando que para esta especie es determinante obtener la mayor altura en el menor tiempo para reducir los problemas con plagas.

En cada escenario de productividad o categoría de índice de sitio corresponden promedios de crecimiento o bien incrementos medios anuales (IMA) distintos que son presentados en la siguiente tabla que muestra los IMA para las variables dasométricas modeladas para *S. macrophylla* en las 5 categorías de índice de sitio. Este constituye un estimador muy práctico de la producción de un rodal en el tiempo.

Tabla IX. **Incremento medio anual (IMA) de variables de crecimiento para *Swietenia macrophylla* King en Guatemala, según categorías de sitio**

Categoría de índice de Sitio	IMA-DAP (cm)	IMA altura dominante (m)	IMA área basal (m ² /ha)	IMA volumen total (m ³ /ha)
Pésimo	0,65	0,40	0,14	0,55
Malo	0,81	0,70	0,24	1,26
Medio	1,11	1,00	0,42	2,87
Bueno	1,30	1,21	0,61	5,12
Excelente	1,58	1,42	0,89	9,11

Fuente: Guatemala, departamento de Protección forestal del INAB. *Resumen de plagas y enfermedades forestales áreas bajo manejo INAB 2016*. p. 97.

Tabla X. **Familia de modelos de crecimiento para *Swietenia macrophylla* King en Guatemala**

Variable	Modelo de crecimiento	r ²
Altura dominante (m)	=EXP(Ln(S) - 2.916376 * (1/T - 0.1))	0.65
Diámetro (cm)	=Exp(2.17447 - 3.065749/T + 0.060974*S - 0.00005*N)	0.96
Área basal (m ² /ha)	=Exp(0.298515 - 6.208435/T + 0.119308*S + 0.001568*N)	0.95
Volumen total (m ³ /ha)	=Exp(1.463823 - 9.064436/T + 0.182203*S + 0.00143*N)	0.97
Índice de sitio	= EXP(Ln(Hd) + 2.916376 * (1/T - 0.1))	0.65

Fuente: Guatemala, departamento de Protección forestal del INAB. *Resumen de plagas y enfermedades forestales áreas bajo manejo INAB 2016*. p. 97.

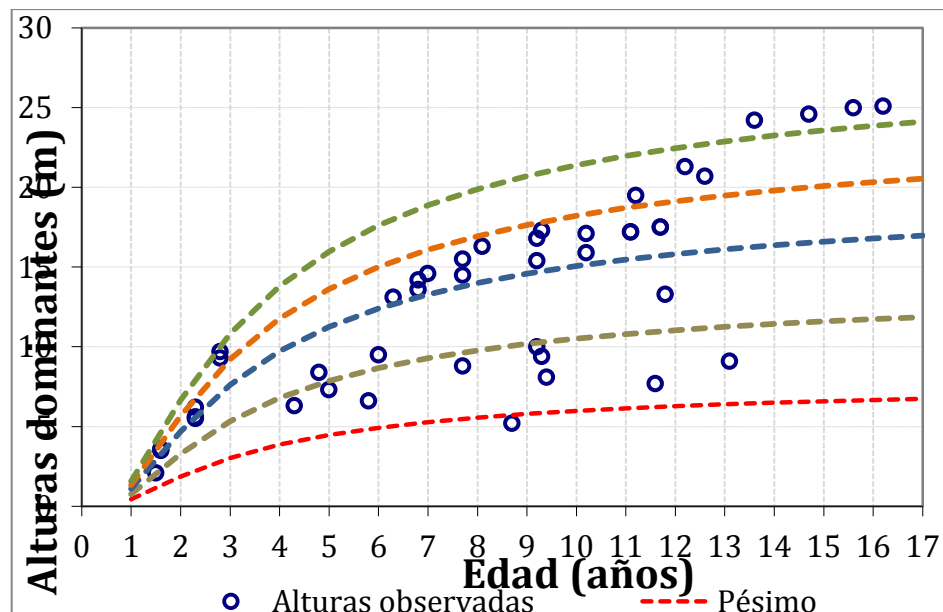
Donde

- T: edad en años
- N: árboles/ha
- H_d: altura dominante [m]
- S: índice de sitio

Las figuras siguientes ilustran la dinámica de crecimiento de *Swietenia macrophylla* King, y se basan en las funciones definidas, y el perfil teórico de manejo del rodal definido para esta especie.

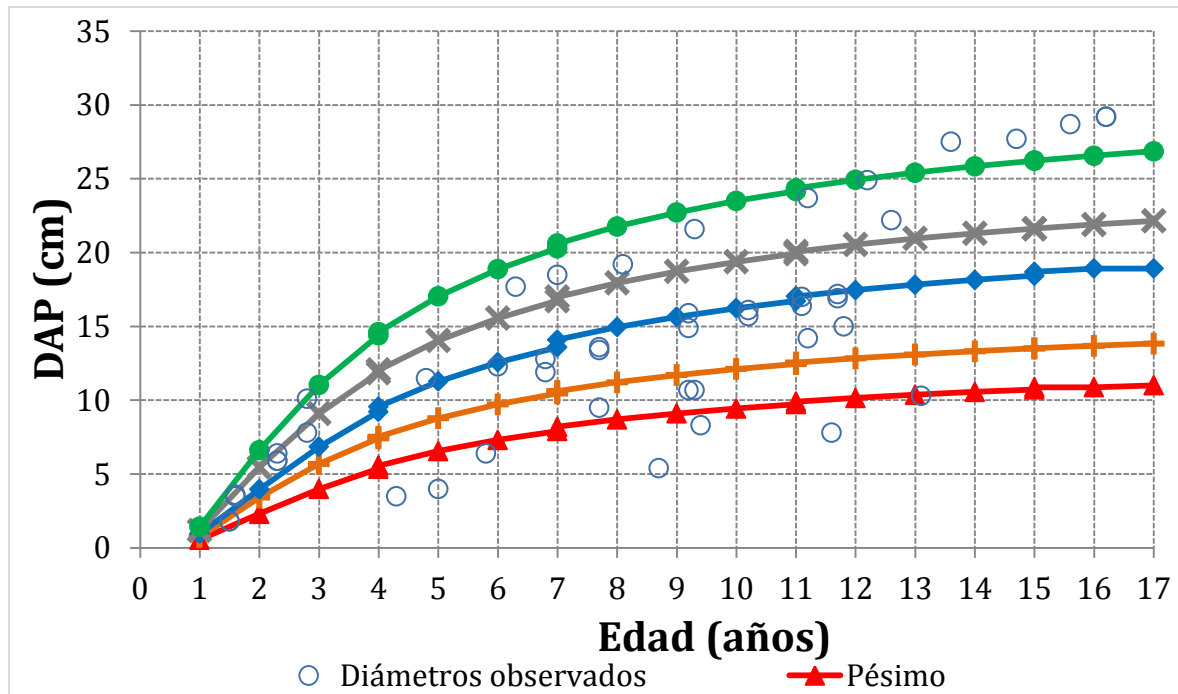
El perfil de manejo de la densidad definido corresponde a una única densidad inicial de 1 111 árboles/ha, que al cuarto año presenta 900 árboles/ha como consecuencia de la mortalidad. A esta edad se simuló un primer raleo con una intensidad cercana a 35 % que deja un remanente de 600 árboles/ha que permanecen hasta el año 7, momento en el que se simuló la aplicación de un raleo del 50 % que deja un remanente de 300 árboles/ha que permanece hasta la cosecha final.

Figura 7. **Familia de curvas de crecimiento en altura dominante (m) para plantaciones de *Swietenia macrophylla* King en Guatemala**



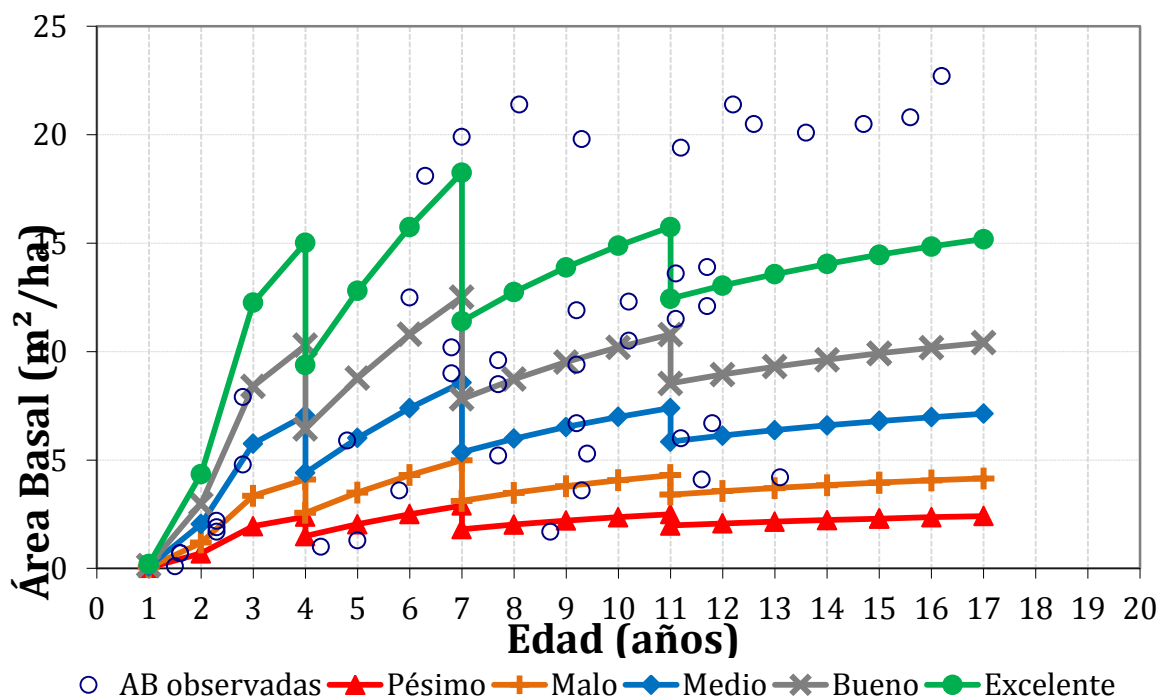
Fuente: Guatemala, departamento de Protección forestal del INAB. *Resumen de plagas y enfermedades forestales áreas bajo manejo INAB 2016*. p. 98.

Figura 8. Familia de curvas de crecimiento en diámetro (cm) para plantaciones de *Swietenia macrophylla* King en Guatemala



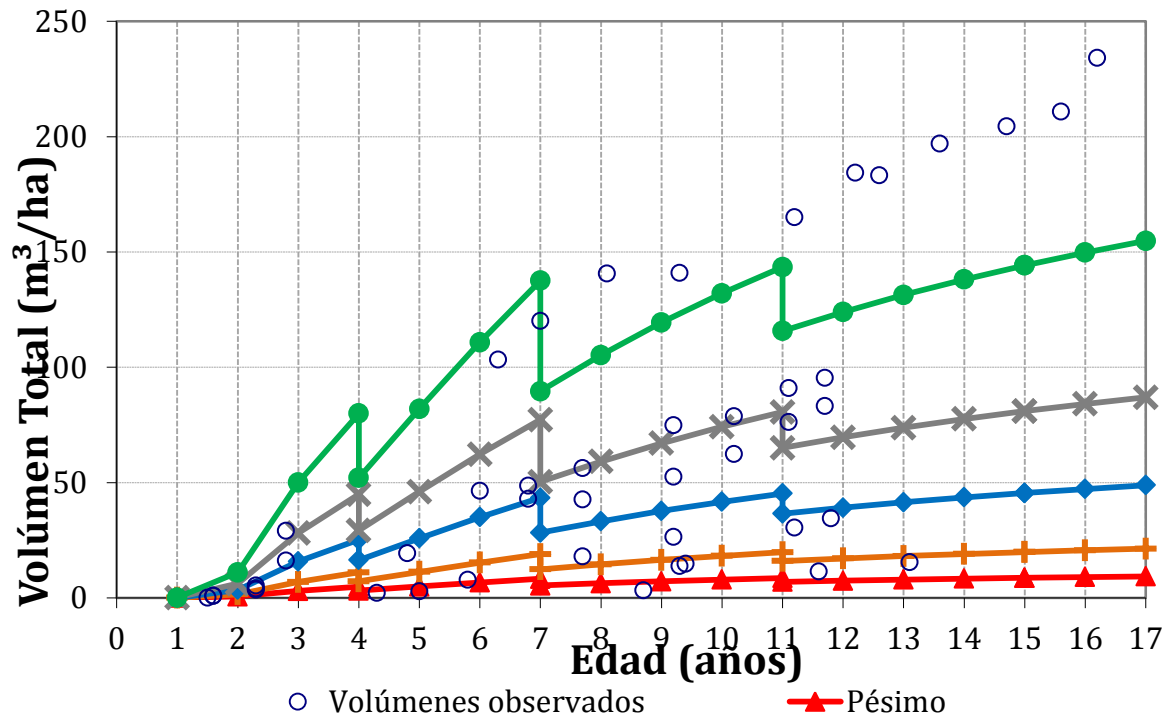
Fuente: Guatemala, departamento de Protección forestal del INAB. *Resumen de plagas y enfermedades forestales áreas bajo manejo INAB 2016*. p. 98.

Figura 9. Familia de curvas de crecimiento en área basal (m^2/ha) para plantaciones de *Swietenia macrophylla* King en Guatemala



Fuente: Guatemala, Departamento de Protección forestal del INAB. *Resumen de plagas y enfermedades forestales áreas bajo manejo INAB 2016*. p. 99.

Figura 10. Familia de curvas de crecimiento en volumen total (m³/ha) para plantaciones de *Swietenia macrophylla* King en Guatemala



Fuente: Guatemala, Departamento de Protección forestal del INAB. *Resumen de plagas y enfermedades forestales áreas bajo manejo INAB 2016*. p. 100.

4.29. Existencias

4.29.1. Herramienta

Estimado del volumen de madera en pie. Se recomienda el uso de la fórmula de la FAO:

$$\text{Vol (m}^3\text{)} = 0,0567 + 0,5074 * \text{DAP} * \text{HC} \quad \text{Ecuación 1}$$

Dónde

DAP: Diámetro a la altura del pecho

HC: Altura comercial

4.30. Importancia de la especie en el país

La caoba es una de las maderas más conocidas en Guatemala; de hecho, el país es el principal exportador de la región hacia los Estados Unidos, en 2011 alcanzó un 70 % de la madera de caoba importada por los Estados Unidos, con un valor de 6 millones de dólares. Esa actividad productiva y comercial ha generado 161 162 jornales al año.

El área reforestada bajo los mecanismos del PINFOR alcanzó 850,57 ha, entre los años 2007-2014; con PINPEP se establecieron 6,51 ha con sistemas agroforestales y se reforestaron 3,17 ha durante el mismo periodo. En ambos casos, la caoba fue una de las especies empleadas.

Se ha venido plantando un promedio de 52 ha de *Swietenia macrophylla* King por año; en el 2001 se plantaron 120 ha, la mayor área plantada por año de esta especie.

4.30.1. Estado de protección legal de la especie en el país

La caoba es una especie protegida por el CONAP y se encuentra en el listado de especies amenazadas en la categoría 3, no está en peligro de extinción, pero si continúa su mal aprovechamiento podría llegar a estar en peligro.

En CITES (Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres) está ubicada en el apéndice II, lo que significa que la especie no se encuentra en peligro de extinción, pero si no tiene una regulación en su comercio podría llegar a estar en esta situación.

4.30.2. Superficies de plantaciones

Tabla XI. Áreas plantadas en Guatemala con *Swietenia macrophylla*, incentivadas por PINFOR y PINPEP por años y departamentos, en hectáreas

año de inicio	Chiquimula	Zacapa	Izabal	Alta Verapaz	Baja Verapaz	Quiché	Petén	4 departamentos más	total anual
1998			9				15		24
1999			23	2		1	28		54
2000		3		31		3	29	2	68
2001		4	26	29		7	37	14	117
2002		6	1	34		9	65	4	119
2003		29	18	31		2	10	2	92
2004		17		28		1	13	1	60
2005			1	45		2	8		56
2006	2			23	2		3		30
2007			0	49			4		53
2008		6	4	72		3	14		99
2009				31			21		52

Continuación de la tabla XI.

2010	2		9		3		51		65
2011			10				3		13
2012	0		7		1		1		9
2013	3		0				41		44
2014	2		1		2		5		10
2015	3	6	6	8	4	1		9	36
total por departamento	5	70	96	409	8	33	347	32	998
plantaciones puras					2		32		34
plantaciones mixtas	2	64	92	403	2	31	315	31	939
sistemas agro-forestales	3	6	5	0	4			1	18
manejo de regeneración natural			6		2				8

Fuente: Guatemala, Departamento de Protección forestal del INAB. *Resumen de plagas y enfermedades forestales áreas bajo manejo INAB 2007-2015*. p. 78.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

La existencia de datos en CONAP e INAB, junto con la información recopilada de los distintos establecimientos brindaron la calidad y cantidad necesarias para la elaboración de un paquete tecnológico con información básica que será de utilidad para los silvicultores nacionales que requieran mayor conocimiento de la caoba. Con la aplicación de este paquete puede haber una mejor planificación y aplicación del manejo forestal sostenible.

En el apartado de selección de sitio, se presentan oportunidades favorables para el país que están determinadas por las características de fisiografía, suelo, zona de vida, pluviometría y temperatura. En el mapa de distribución potencial *Swietenia macrophylla* King se observó que los departamentos que cuentan con estas características son Petén, Alta Verapaz e Izabal y en estas zonas es donde el mayor número de parcelas se encuentran establecidas.

La procedencia y genética de la semilla de la caoba es uno de los factores más importantes ya que si se le da un buen tratamiento y se hace una buena recolecta, un buen acondicionamiento, se conservan adecuadamente para la producción, pueden garantizar el éxito del establecimiento y productividad de las plantaciones forestales. Existen 4 fuentes semilleras inscritas en el Registro Nacional Forestal: finca rústica esta se encuentra inactiva, ejido municipal de San Francisco, Parque Nacional Laguna Lachúa y una en Ixcán estas tres plantaciones forestales se encuentran activas.

En el establecimiento de plantaciones los insumos y cuidados que puedan brindarse al cultivo agrícola, además, benefician a los árboles que pueden crecer más rápidamente y superar la fase de susceptibilidad al barrenador en menor tiempo. Las fincas Chultunes, Ramonal III y Pilonés de Antigua se mezclaron con sistemas agroforestales para reducir el ataque a las plagas en especial del barrenador que ataca en la primera etapa de desarrollo del árbol.

El manejo silvicultural busca alcanzar la sostenibilidad ecológica. El manejo depende de las condiciones de los sitios específicos en los cuales se realiza la plantación, esto permite que mediante la práctica de podas y raleos exista una productividad alta en la regeneración y recuperación del bosque. El control de maleza en la finca Pilonés de Antigua fue efectivo, pero siempre hubo un ataque del barrenador en un porcentaje bajo. En la finca El Ramonal III su sistema es también efectivo, pero de igual manera se encontraron árboles con torceduras debido al ataque del barrenador siempre siendo este un porcentaje bajo.

Es una especie que es muy propensa a ser atacada por la plaga del barrenador y viruela, debido a esto es importante realizar labores silviculturas encaminadas a desarrollar las condiciones favorables para obtener buenos resultados. Es recomendable la mezcla con otras especies así se reducen los ataques o enfermedades ya que en plantaciones puras la probabilidad de ser atacada es muy alta. En la tabla III, se observa que la *Hypsipyla grandella* (barrenador) tiene en el año 2010 un ataque de 95,67 ha y posee áreas más afectadas que *Cercospora*(viruela) reportando sus valores más altos en los años 2010 y 2012: 20,68 hectáreas. El barrenador, la plaga que más ataca a la caoba, no permite el crecimiento del árbol y produce mal formaciones ya que crea túneles en el interior del tronco y estos daños se vuelen irreparables.

En el manejo de bosques naturales, el establecimiento de una buena metodología conlleva a obtener mejores rendimientos para el control y monitoreo de la caoba. Con esto también se puede llegar a tener un fortalecimiento en el manejo adecuado para la gestión forestal, así como lo dictamina el CONAP, ya que es importante tener las regulaciones que esta institución dictamina para la caoba, así como conocer la intensidad del aprovechamiento, el tiempo de la recuperación de los volúmenes a cortar, las tasas de crecimiento, el tipo de tratamiento silvicultural y el tamaño de las unidades de aprovechamiento, para obtener durante la sucesión de ciclos de corta, la misma cantidad de volumen que estamos extrayendo en cada corta. El tener un tiempo de recuperación entre los ciclos de corta ayuda a que la regeneración del bosque tenga un buen aprovechamiento y exista un equilibrio ecológico.

En crecimiento y productividad los índices de sitio en la tabla VI es una herramienta que permitió conocer las categorías de productividad en la cual se encuentran los municipios; es importante tener claro que cada experiencia es diferente dependiendo del manejo forestal y el cuidado que se le brinda a la plantación o bosque natural de caoba; debido a esto, los índices de sitio variaron de acuerdo a los diferentes productos y tecnologías empleadas en las fincas. En la finca Predinsa ubicada en Petén municipio Flores se obtuvo el mejor índice de sitio: 20.1.

La caoba se encuentra en un estado protegido por CITES y CONAP; estas instituciones dictaminan que la caoba puede tener un aprovechamiento siempre que se tomen en cuenta las regulaciones legales. En la tabla VII, se observó que en el año 2002 fue el año con más hectáreas de caoba plantadas fueron 119 y el año con menor plantaciones fue el 2012 únicamente 9 hectáreas reportadas. En los 18 años presentados hubo un total de 998 hectáreas

plantadas reportadas al INAB, fue Alta Verapaz el departamento con mayor número de hectáreas: 409. Las plantaciones mixtas fueron de 939 hectáreas debido que así se reduce el ataque de las plagas hacia la caoba.

El paquete tecnológico contiene una serie de conocimientos científicos y técnicos, y con el monitoreo que realizó el INAB en las parcelas permanentes se obtuvo mayor información actualizada.

CONCLUSIONES

1. La información obtenida en las parcelas permanentes de muestreo fue de utilidad para definir que el departamento de Izabal es el que cuenta con mayor índice de productividad de la caoba, sin embargo, la tabla de aptitud para el crecimiento de la caoba de municipios con PPM de la especie en Guatemala muestra que es Petén; pero se debe tomar en cuenta que influye fuertemente el manejo que se le da a la parcela permanente para que este pueda crecer con éxito y en las condiciones ideales que muestra el mapa.
2. Se logró desarrollar un paquete tecnológico para el manejo silvicultural de la caoba en Guatemala, organizado por capítulos ordenados, claros y secuenciales, que permiten al silvicultor tener de manera fácil y relativamente rápida, los conocimientos básicos, las técnicas y las metodologías más exitosas para el correcto manejo de la caoba. Los documentos de las diferentes universidades fueron fundamentales ya que cuentan con un gran potencial científico.
3. Los requerimientos técnicos expuestos establecidos por el Inab y el Conap que son las entidades públicas que velan por el buen manejo de la caoba; ayudan al silvicultor a conocer las normas y regulaciones que debe tomar en cuenta al momento de sembrar la caoba o al querer extraer la madera de un bosque.

4. Por otra parte, la metodología general sugerida en el paquete tecnológico se elaboró cumpliendo los requerimientos legales y técnicos que el Conap establece, para cada una de las fases del cultivo de la caoba; promoviendo un adecuado manejo forestal de esta especie. Asimismo, se obtuvo la mayor información necesaria sobre la especie proponiendo procedimientos que han generado los mejores resultados de productividad forestal en Guatemala.

RECOMENDACIONES

1. Realizar una recopilación de datos de crecimiento en diámetro y altura en cada período, para conocer más sobre los nuevos estudios que se han realizado de la caoba y poder usar los aportes que son importantes para esta especie.
2. Las instituciones que se encargan del manejo adecuado de la caoba podrían brindar nuevas herramientas a los silvicultores para que puedan tener mejores resultados en las plantaciones para que su productividad sea efectiva.
3. Extender la investigación de los organismos causales de enfermedades a más áreas de reforestación en diferentes regiones del país para obtener un inventario nacional sobre los patógenos.
4. Realizar una plataforma virtual para que los silvicultores puedan aportar sus experiencias buenas y malas de las plantaciones puras o mixtas que realicen, debido a que mucha de esta información no llega nunca a todas las personas interesadas en el tema.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALCALÁ MARTÍNEZ, Raúl Ernesto. *Ecología, genética y conservación de la caoba (Swietenia macrophylla King): herramientas para un manejo aDAPtativo de la selva maya de Quintana Roo, México*. Cuernavaca, México: Universidad Autónoma del Estado de Morelos, 2011. 57 p.
2. BAUER, Geral P. y FRANCIS, John K. *Swietenia macrophylla King Caoba hondureña, Honduras mahogany. Bioecología de árboles nativos y exóticos de Puerto Rico y las Indias Occidentales. Río Piedras, PR*. USA: Department of Agriculture, Forest Service, International Institute of Tropical Forestry, 2000. 498 p.
3. CABRERA ERMITAÑO, Ivan Elvin Orlando. *Estudio de la composición arbórea, fuente semillera y calidad de la semilla de caoba (Swietenia macrophylla King) y santa maría (Calophyllum brasiliense var. rekoii Standl) en el parque nacional Laguna Lachuá, Cobán, Alta Verapaz*. Trabajo de graduación. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, 2006. 80 p.
4. CAAL PAAU, O. *Cuantificar el número de plantas de caoba atacadas en estado brinzal, latizal y fustal por el barrenador de las meliaceas (Hypsipyla grandella) en las comunidades Las Tortugas y San Benito I, municipio de Cobán, departamento de Alta Verapaz*. Trabajo de graduación. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, 2007. 121 p.

5. CASTAÑEDA HURTADO, Marvin Rosalío. *Evaluación de parcelas permanentes de medición forestal, con la finalidad de generar propuestas de áreas para establecer especies predominantes en plantaciones mixtas en la Sub-Región II-6 Ixcán y II-7 Salacuim, del Instituto Nacional de Bosques*. Guatemala: Escuela Técnica de Formación Forestal, 2013. 93 p.
6. CATIE, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CR. *El estado de conservación de las especies maderables aprovechadas en las concesiones forestales de la Reserva de la Biósfera Maya, Petén, Guatemala*. Turrialba, Guatemala: CATIE, 2016. 4 p.
7. COJÓM PAC, José Israel. *Dinámica de crecimiento y productividad de 28 especies en plantaciones forestales de Guatemala*. Guatemala: Instituto Nacional de Bosques, INAB, 2015. 213 p.
8. CONAP Consejo Nacional de Áreas Protegidas, GT. *Manual de procedimientos para la exportación de caoba del norte de Guatemala*. Guatemala: Documento técnico 50 18-2006, CONAP, 2006. 40 p.
9. _____. *Manual para la administración forestal en Áreas Protegidas*. Guatemala: Consejo Nacional de Áreas Protegidas. CONAP #03 01-2012, 2012. 337 p.
10. CORDERO, Jesús y BOSHIER, David H. *Swietenia macrophylla King*. In: *Árboles de Centroamérica: un manual para extensionistas*. Inglaterra: Oxford Forestry Institute, Oxford UK/Centro Agronómico

Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, CR, 2003. 1079 p.

11. GARCÍA CONTRERAS, Brenda Esperanza. *Informe final de diagnóstico, investigación y servicios desarrollados en la unidad de plagas forestales del proyecto de protección forestal / investigación: caracterización de enfermedades fungosas de especies forestales en plantaciones PINFOR ubicadas en Escuintla, Suchitepéquez y Retalhuleu*. Trabajo de graduación. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Agronomía, 2006. 160 p.
12. GROGAN, James; FREE, Christopher; PINELO MORALES, Gustavo; JOHNSON, Andrea; Alegria, Rubí y Hodgdon, Benjamin. *Sustaining the Harvest: Assessment of the conservation status of Big-leaf mahogany, Spanish cedar, and three secondary timber species populations in the forestry concessions of the Maya Biosphere Reserve, Petén, Guatemala*. New York, USA: Rainforest Alliance. 2015. 18 p.
13. HERNÁNDEZ MOLINA, Edwin Geovanni. *Experiencias en recolección y acondicionamiento de frutos y semillas de 25 especies forestales con demanda en el programa de incentivos forestales*. Trabajo de graduación, Facultad de Agronomía. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2004. 66 p.
14. JUÁREZ SÁNCHEZ, María José. *Sistematización de experiencias en el establecimiento y manejo silvícola de plantaciones de caoba (Swietenia macrophylla King) en la Región VIII del Instituto Nacional de Bosques (INAB)*. Trabajo de graduación de Ing.

Química. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2016. 157 p.

15. LÓPEZ RÍOS, Claudio Alberto. *Aportes para la identificación de especies forestales de uso actual en la región II de Las Verapaces e Ixcán, del Instituto Nacional de Bosques (INAB)*. Trabajo de graduación, Facultad de Agronomía. Universidad de San Carlos de Guatemala. 2008. 130 p.
16. MANZANERO CANO, Mariano. *Ciclo de corta, incrementos e intensidad de corta. Petén*. Guatemala: Consejo Nacional de Áreas Protegidas CONAP, 2005. 14 p.
17. _____. *Diámetros mínimos de corta en bosque de la RBM. Petén*, Guatemala: Consejo Nacional de Áreas Protegidas CONAP, 2005. 10 p.
18. _____. *Estudio de rendimiento del aserrío de madera de la especie caoba (Swietenia macrophylla) en la concesión forestal Unidad de Manejo San Andrés Petén (AFISAP). San Benito*. Guatemala: Asociación de Comunidades Forestales de Petén ACOFOP, 2003. 37 p.
19. NAVARRO HERNÁNDEZ, Marvin Hernández. *Variación genética de Swietenia macrophylla en Centroamérica, implicaciones para su conservación, utilización sostenible y manejo*. Costa Rica: CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. (Serie Técnica. Reuniones Técnicas (CATIE) no. 5), 1999. 110 p.

20. _____. *Diagnóstico de la caoba (Swietenia macrophylla King) en Mesoamérica: Silvicultura-Genética*. San José, Costa Rica: Centro Científico Tropical (CCT), 1999. 25 p.
21. NAVARRO MONGE, Guillermo A.; SANTAMARÍA GUTIÉRREZ, Oscar J.; VARGAS BOLÍVAR, Luis C y MILLA QUESADA, Víctor. *Análisis del comercio internacional de productos de madera y su gobernanza administrativa: Región de América Central y la República Dominicana 2000-2011*. San José, Costa Rica: Oficina Regional para México, América Central y el Caribe (UICN), 2014. 120 p.
22. NEGREROS CASTILLO, Patricia; SNOOK, Laura K. y MITZE, CW. *Regeneración de caoba a partir de siembra directa en aperturas creadas en un bosque natural en México*. Costa Rica: Recursos Naturales y Ambiente Foro 44, 2005. 190 p.
23. NIEMBRO ROCAS, Aníbal. *Swietenia macrophylla King. Manual de semillas de árboles tropicales*. Estados Unidos: Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los (USDA), 2010. 852 p.
24. OROZCO, Lorena y BRUMÉR, Cecilia. *Inventarios forestales para bosques latifoliados en América Central*. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. (Serie técnica, Manual técnico (CATIE) 50), 2002. 264 p.
25. PATIÑO VALERA, Fernando. *Recursos genéticos de Swietenia y Cedrela en los Neotrópicos: propuestas para acciones coordinadas*. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas

para la Agricultura y la Alimentación. (FAO, Departamento de Montes, proyecto FAO/GCP/RLA/128/NET), 1997. 58 p.

26. PINELO, Gustavo. *Estado de conservación de las poblaciones de cinco especies maderables en concesiones forestales de la Reserva de la Biosfera Maya, Guatemala: Swietenia macrophylla, Cedrela odorata, Lonchocarpus castilloi, Bucida buceras, Calophyllum brasiliense*. [En línea]. http://www.alianzamesoamericana.org/wp-content/uploads/2015/11/Presentaci%C3%B3n-Estado-de-conservaci%C3%B3n-caoba-4-SP-en-RBM-Guatemala-Gustavo-Pinelo_LO.pdf. [Consulta: 12 de febrero de 2016].
27. RAMÍREZ ANLEU, Carlos; SZEJNER SIGAL, Michelle; MASELLI DE SÁNCHEZ, Silvana y ROJAS PRADO, Nury Edith. *Primer informe nacional sobre el estado de los recursos genéticos forestales en Guatemala*. Guatemala: INAB Instituto Nacional de Bosques, (Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad Rafael Landívar), 2012. 186 p.
28. SALAZAR, Rodolfo; SOIHET, Carolina y MÉNDEZ, José Miguel. *Swietenia macrophylla King. Manejo de semillas de 100 especies forestales de América Latina*. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. (Serie técnica, Manual técnico (CATIE) 41), 2000. 41-42 p.
29. SNOOK, Laura K; NEGREROS CASTILLO, Patricia; O'CONNOR, Jennifer. *Supervivencia y crecimiento de plántulas de caoba en aperturas creadas en la Selva Maya de Belice y México*. Costa Rica: Recursos Naturales y Ambiente Foro 44, 2005. 199.

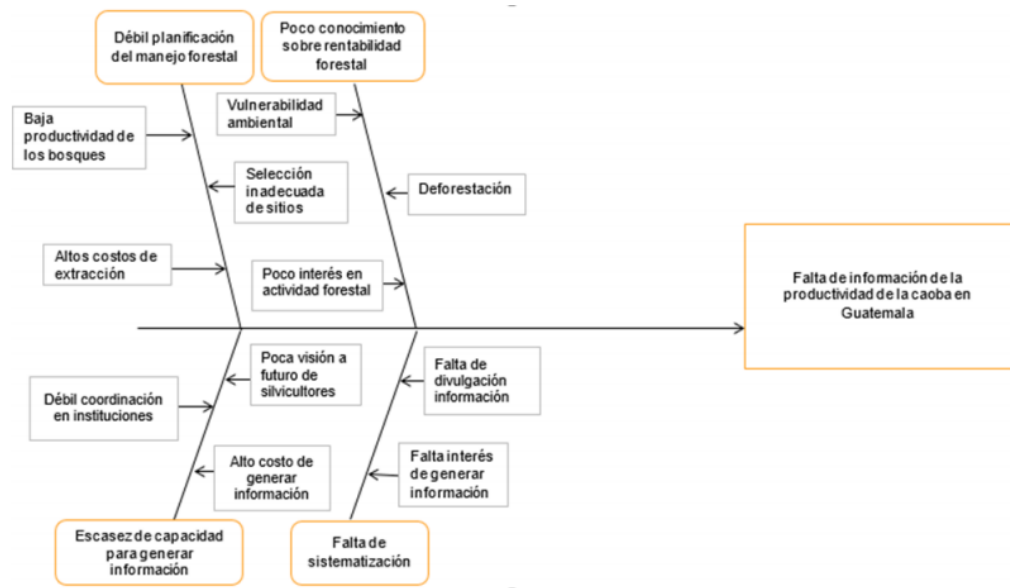
30. SOLÍS CARRERA, Sergio Leonel. *Evaluación de la dinámica poblacional y el crecimiento diamétrico de especies arbóreas, en parcelas permanentes de muestreo, en la Unidad de Manejo San Andrés (AFISAP)*. Trabajo de graduación, Facultad de Agronomía. Universidad San Carlos de Guatemala. 2009. 93 p.
31. SOSA VILLATORO, Andrea Alejandra. *Control de la plaga gusano barrenador (*Hypsipyla grandella* Zeller) en una plantación de caoba (*Swietenia macrophylla* King) utilizando extractos de neem (*Azadirachta indica* A. Juss.)*. Trabajo de graduación, Facultad de Agronomía. Guatemala, Universidad del Valle de Guatemala. 2009. 97 p.
32. STANLEY, S. A. *Guía para la interpretación de resultados de un inventario forestal para concesiones en Reserva de la Biosfera Maya, Guatemala*. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, (Serie técnica, Informe técnico (CATIE) 297), 1997. 38 p.
33. TENI CHOC, María Fernanda. *Plan de manejo para la producción de plantas (vivero forestal) de la ecoregión de Lachuá, Cobán, Alta Verapaz*. Guatemala: Instituto Técnico Experimental en Recursos Naturales, 2007. 39 p.
34. TRUJILLO-SIERRA, José Enrique; DELGADO-VALERIO, Patricia; RAMÍREZ-MORILLO, Ivón; REBOLLEDO-CAMACHO, Virginia y PÉREZ-NASSER, Nidia. *Variación genética en poblaciones mexicanas de *Swietenia macrophylla* King, una especie tropical en*

expansión geográfica reciente. Botanical Sciences 91(3): 2013. 11 p.

35. VIVERO, José Luis; SZEJNER, Michelle; GORDON, James y MAGIN, Georgina. *The red list of trees of Guatemala*. Londres: Cambridge, UK, Fauna & Flora International, 2006. 52 p.
36. YALIBAT PAAU, R. Cuantificación de la regeneración natural de caoba (*Swietenia macrophylla* King) en tres edades naturales, brinzal, latizal y fustal, en un área de 25.13 ha del Parque Nacional Laguna Lachuá (PNLL), Guatemala: Instituto Técnico Experimental en Recursos Naturales, 2007. 43 p.
37. ZANONI MENDIBURU, Carlos Alejandro. *Propagación vegetativa por estacas de ocho especies forestales*. Trabajo de graduación. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 1975, 100 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Tabla de presupuesto**

INSUMOS	COSTO
• Vehículo	
Gasolina	Q.1500.00
• Material de oficina	
-Hojas	Q.50.00
-USB	Q.100.00
-Tinta	Q.150.00
-Cuaderno	Q.30.00
-Internet	Q.200.00
-Teléfono	Q.800.00
-Computadora	Q.3000.00
• Luz	Q. 500.00
• Talleres	Q.1000.00
• Capacitación PPM	Q.650.00
• Fotocopias	Q.50.00
• Alimentación	Q.1600.00
• Asesor	Q.12,500.00
• Investigador	Q.5000.00
TOTAL	Q. 24,980.00
Apoyo INAB	Q.21,760.00

Fuente: elaboración propia.